DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA

UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS CURITIBA

RETIFICAÇÃO MONOFÁSICA PARTE 2

AOS07 –RETIFICADOR MONOFÁSICO ONDA COMPLETA

Curitiba, 23 de outubro de 2024.(online)

AGENDA

1. Revisão
2. Retificador de onda completa (ROC)
   1. Duplo de meia onda = tape central = *center tape*
   2. Ponte
3. Eficiência retificador ½ onda e onda completa
4. Exercícios

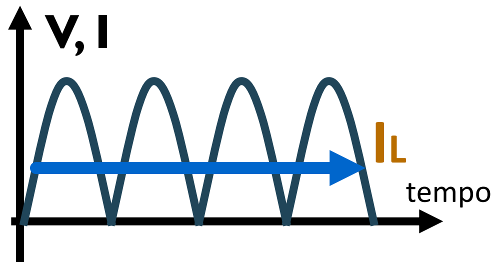
Materiais de apoio para atividades EAD
TE5: Retificador monofásico não controlado em :
https://moodle.utfpr.edu.br/course/view.php?id=1823&section=4

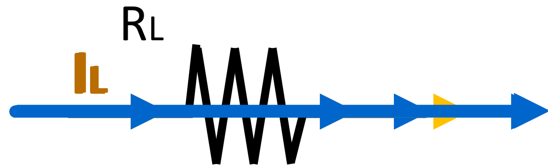
Vídeos no bloco REPOSITÓRIO DA DISCIPLINA

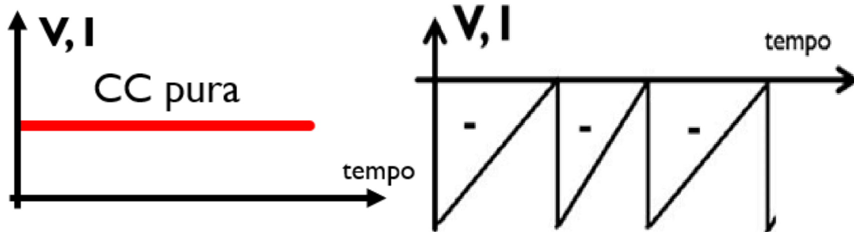
- ✓ Tape central-Ponte retificadora
- ✓ Etapa do filtro
- ✓ Vídeo interessante sobre a função do capacitor: https://moodle.utfpr.edu.br/mod/book/view.php?id=567555

Revisão: CA & CC

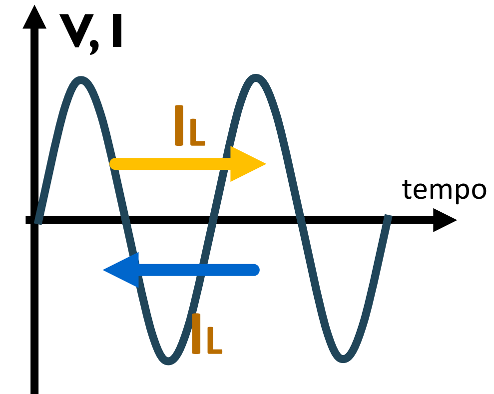
Contínua:
único sentido da corrente na carga.

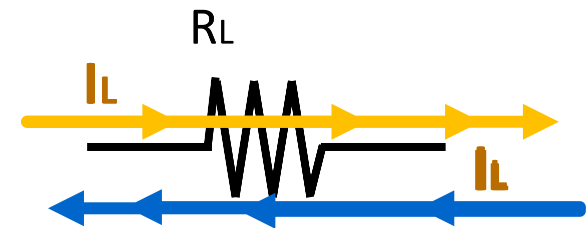


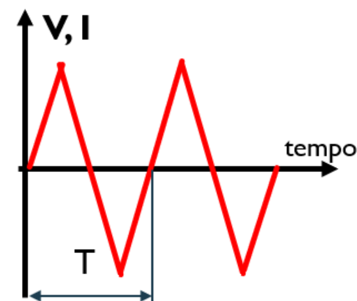


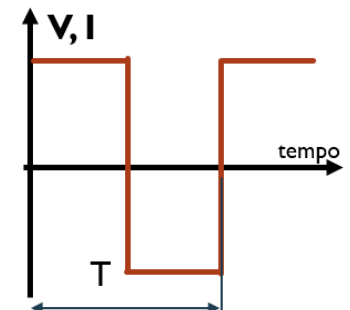


Alternada:
há mudança no sentido da corrente na carga.





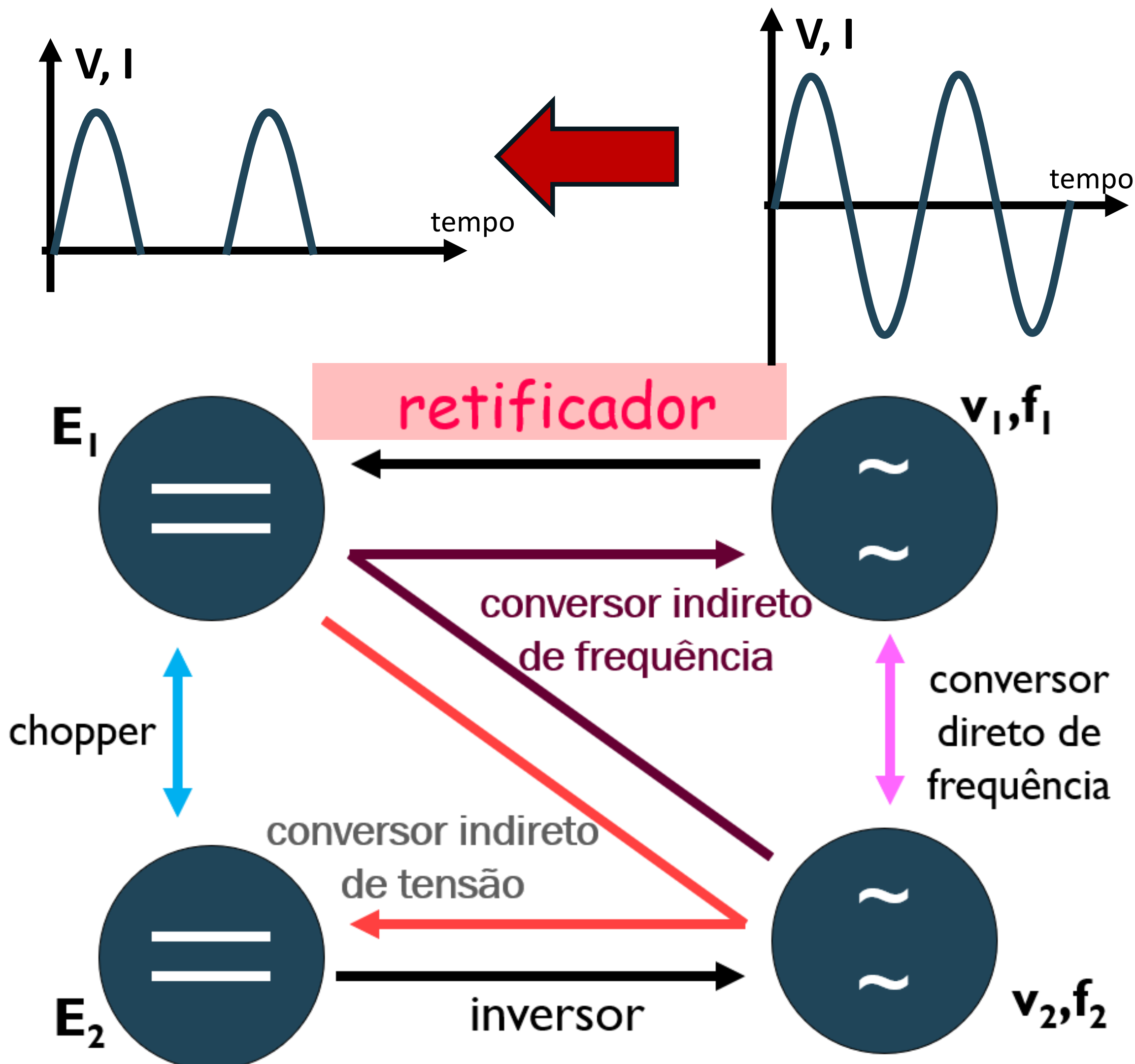




Revisão: conversor estático CA em CC = retificador meia onda

Conversor Estático: tratamento eletrônico da energia elétrica

Retificador meia onda = RMO (aula passada)



Revisão: considerações sobre interpretação valor notável CA

Placa de identificação do equipamento CA: valor eficaz





Veficaz (rms):

VALOR DE UMA TENSÃO VARIÁVEL QUE PRODUZ O MESMO TRABALHO QUE UMA TENSÃO CONTÍNUA 'PURA'

$$\sqrt{\frac{1}{T}\int_{0}^{T}(y(t))^{2}dt}$$

MD TRUE RMS: mede corretamente o valor eficaz grandezas elétricas variáveis.



MD NÃO TRUE RMS: mede corretamente o valor eficaz **somente** da forma senoidal.

Revisão: seleção da escala do MD quando é AC e, quando é DC

Valor Eficaz: $\sqrt{\frac{1}{T}\int_{0}^{T}(y(t))^2dt}$

Valor Médio: $\frac{1}{T}\int_{0}^{T}y(t)dt$



Quando conectado em	Valor notável indicado
CC	Médio (DC)
CA	Eficaz (RMS)



MD **TRUE RMS**: o valor informado corresponde ao valor eficaz da grandeza medida para qualquer forma de onda medida;
MD **NÃO TRUE RMS**: o valor correto somente para SENOIDAL.

Leitura do MD selecionado em CC, indica o valor médio das formas de onda.



Para uma CA periódica o valor médio indicado por um instrumento na escala DC é **zero**.

Exercício - meia onda

Um circuito retificador monofásico de meia onda emprega um transformador de 127 V /12 V que alimenta uma carga de 200 Ω. Admitir o diodo ideal. Pede-se:

a) Desenhar o circuito em questão para o retificador:

b) Determinar o valor médio da corrente na carga: (R:I_{DC}=27 mA)

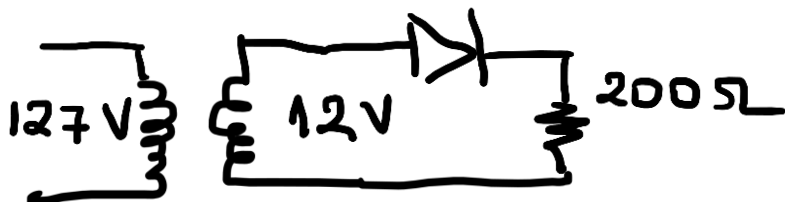
e) A especificação da TPI do diodo: (R:V_{PIV} > 17 V)

TABELA RESUMO: retificadores (sem a etapa de filtro e regulação)

Parâmetro	Meia Onda	Onda Completa	
		Tape Central	Ponte
Número diodos	1	2	4
Frequência saída	$1.(Freq_{entrada})$	$2.(Freq_{entrada})$	$2.(Freq_{entrada})$
Tensão média na carga-V_{DC}=V_{CC} [V]	$\frac{(V_{max}-V_F)}{\pi}$	$\frac{2.(V_{max}-V_F)}{\pi}$	$\frac{2.(V_{max}-2V_F)}{\pi}$
Tensão eficaz na carga-V_{RMS}=V_{EF} [V]	$\frac{(V_{max}-V_F)}{2}$	$\frac{(V_{max}-V_F)}{\sqrt{2}}$	$\frac{(V_{max}-2V_F)}{\sqrt{2}}$
Máxima tensão reversa-TPR=TPI=PIV [V]	$> V_{max}$	$> 2.V_{max}$	$> V_{max}$
Ripple-fator de ondulação [%]	≈ 120	≈ 48	≈ 48
Capacidade de potência aparente do transformador em relação à potência contínua na carga [VA]	3,49 P_{DC} primário e secundário	1,23 P_{DC} primário 1,75 P_{DC} secundário	1,23 P_{DC} primário e secundário
Eficiência [%]	40,5	80,9	80,9

Retificação Monofásica 2 22

a) 1/2 onda



b) I_{DC} depende V_{DC}

$V_{DC\,1/2} = (V_{max})(0{,}318)$

$V_{DC\,1/2} = (12.\sqrt{2})(0{,}318)$

$V_{DC} = (17)(0{,}318)$

$V_{DC} = 5{,}4\,V$

$I_{DC} = \frac{5{,}4}{200} = 27\,mA$

e) TPI = PIV = TPR

TPI > Vmax

TPI > $12.\sqrt{2}$

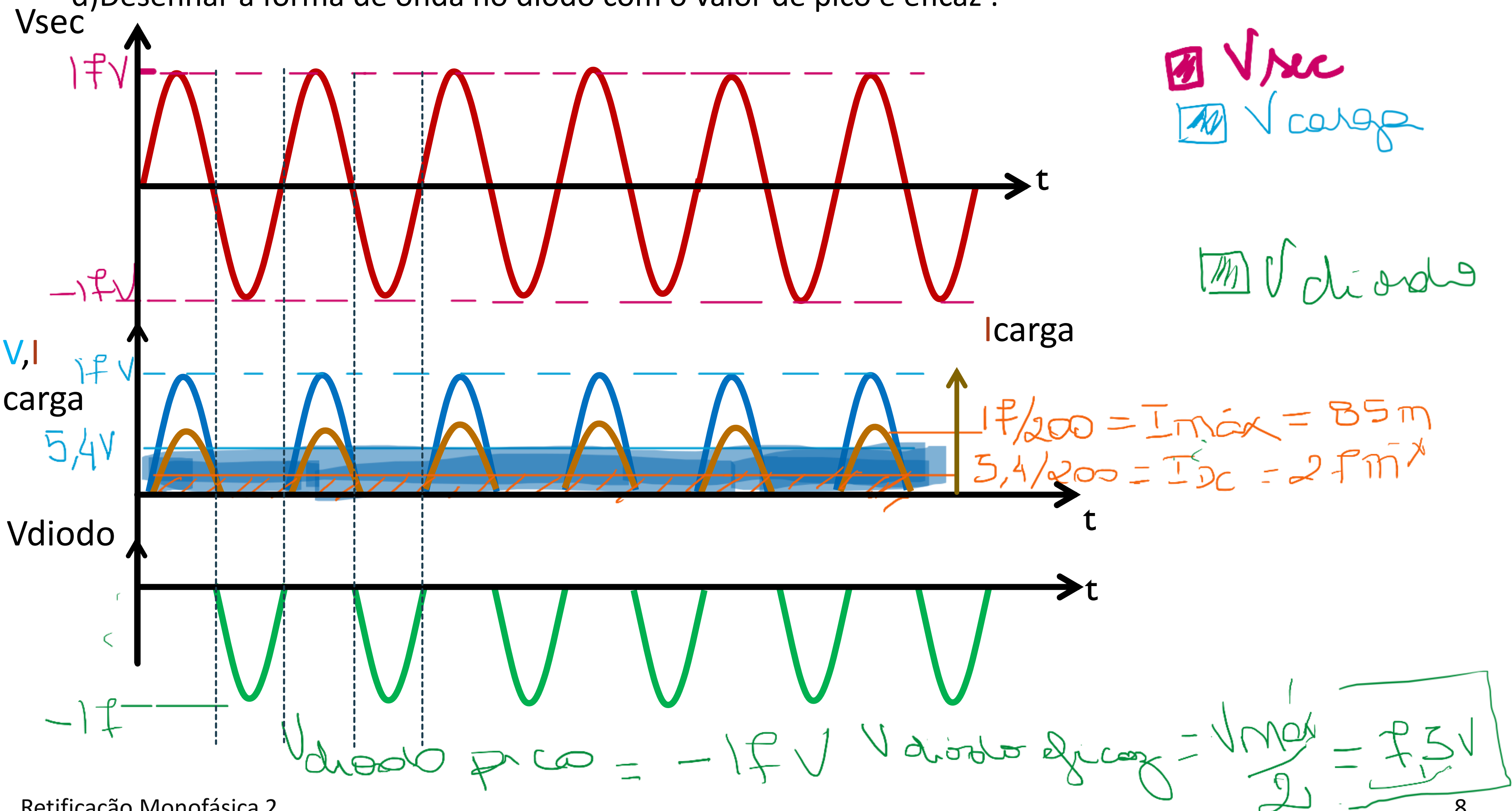
TPI > 17V

Exercício - meia onda

Um circuito retificador monofásico de meia onda emprega um transformador de 127 V /12 V que alimenta uma carga de 200 Ω. Admitir o diodo ideal. Pede-se:

c)Desenhar a forma de onda da tensão e corrente na carga informando os valores de pico e eficaz:

d)Desenhar a forma de onda no diodo com o valor de pico e eficaz :



Exercício - valores notáveis

Um sinal **senoidal de tensão** apresenta o seguinte comportamento:

$$V(t) = 178.sen(2.\pi.100.t)$$

a) Qual a amplitude (Tensão de pico) da forma de onda?

b) Qual a frequência?

c) Qual o período?

d) Qual o valor médio?

e) Qual o valor eficaz (RMS)?

a) 178 V

b) $\omega t = 2\pi f t = 2\pi.100t$

$\omega t = 100t$

$\omega t = 100 . t$

$2\pi f = 100$

$f = 15{,}9\,Hz$

c) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{15{,}9} = 62{,}83\,ms$

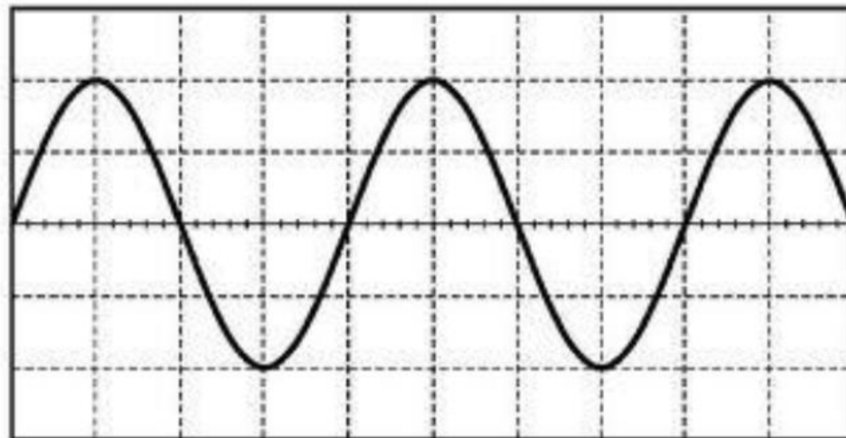
d) $V_{DC} = 0$

e) $V_{rms} = 178/\sqrt{2}$

$V_{rms} = 125{,}87\,V$

Exercício

O sinal abaixo foi obtido através de um osciloscópio, que estava ajustado na escala vertical para 5V/div. e escala horizontal de 0,5ms/div.



a) Qual a amplitude (Tensão de pico) da forma de onda?
b) Qual o período?
c) Calcule a frequência?
d) Qual o valor médio?
e) Qual o valor eficaz (RMS)?

a) $2\,div \times \frac{5V}{div} = 10V_p$

b) Período $= 4\,div \cdot \frac{0,5ms}{div} =$
$T = 2ms$

c) $f = \frac{1}{T} = 500\,Hz$

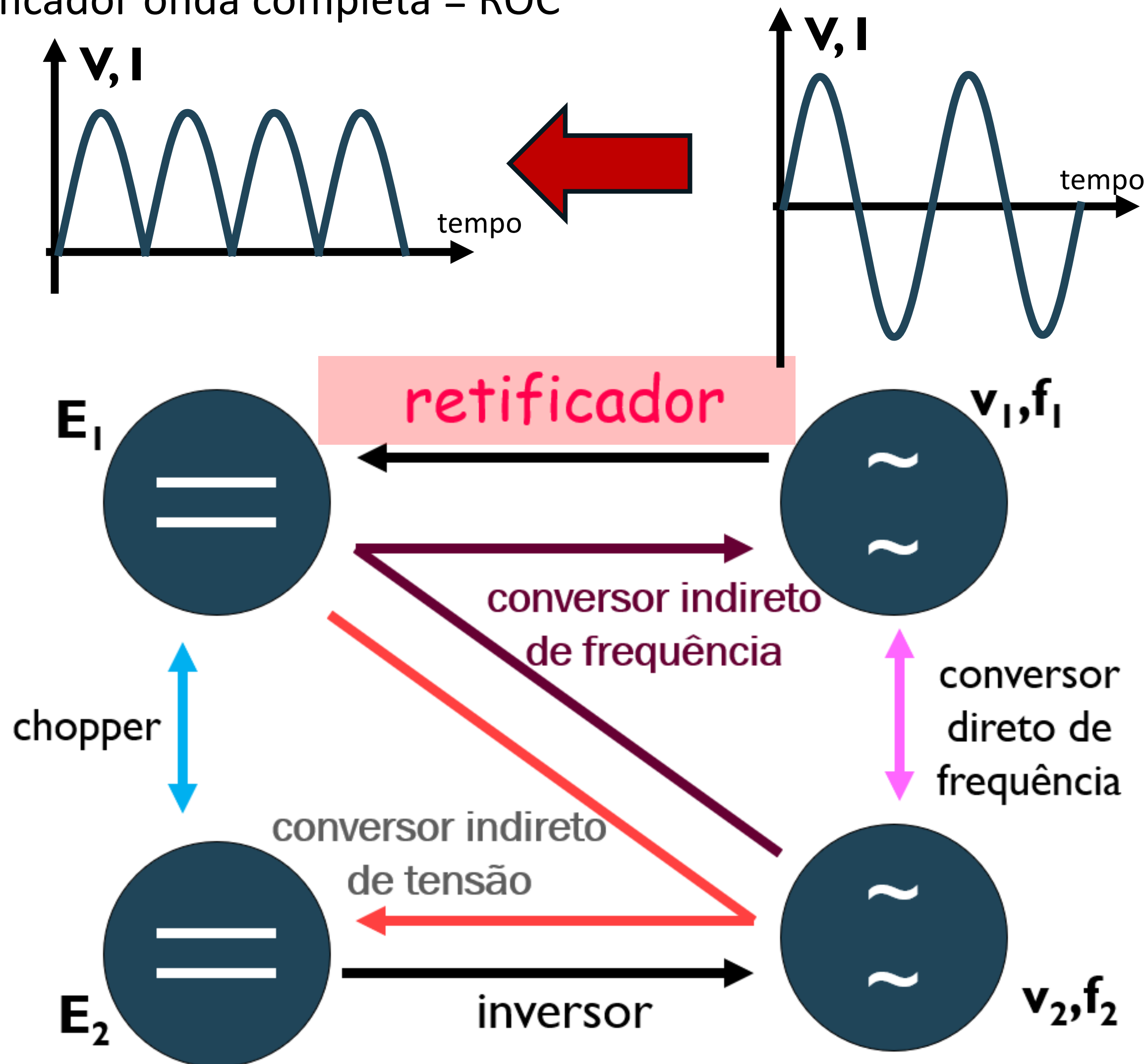
d) $V_{med} = 0$

e) $V_{ef} = 10/\sqrt{2} = 7,07V$

Conversor estático CA em CC= retificador de onda completa

Conversor Estático: tratamento eletrônico da energia elétrica

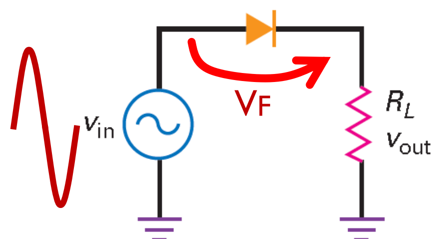
Retificador onda completa = ROC

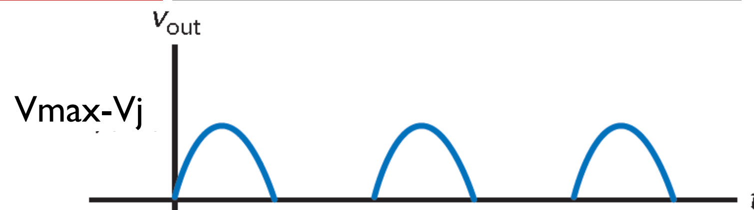


Tipos de retificadores monofásicos: diodo modelo simplificado

MEIA ONDA

RMO



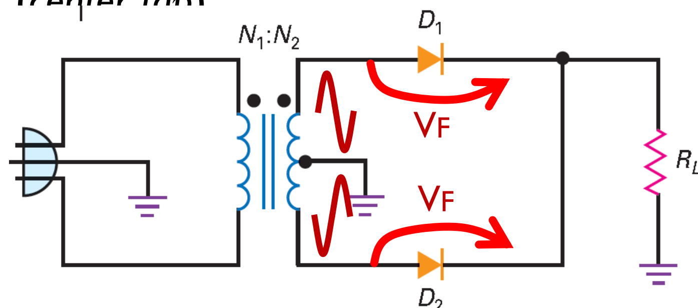


$V_{RL} = V_{medio} = V_{DC}$=(Vmax-VF).0,318

ONDA COMPLETA

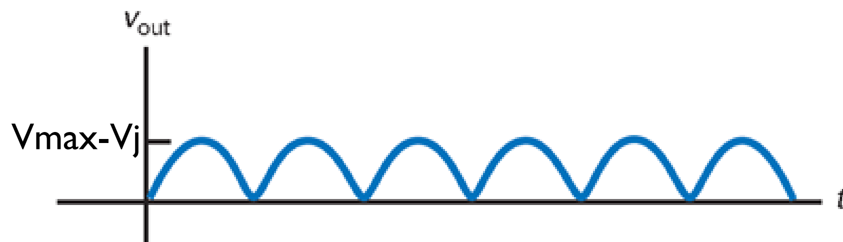
ROC

Tape central ou duplo de meia onda (center tap)

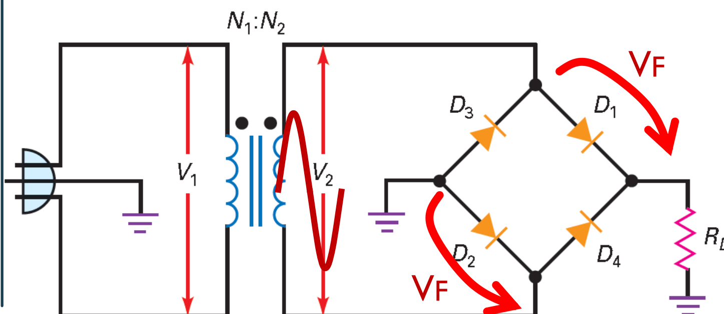


TAPE CENTRAL

$V_{RL} = V_{medio} = V_{DC}$=(Vmax-VF).0,636

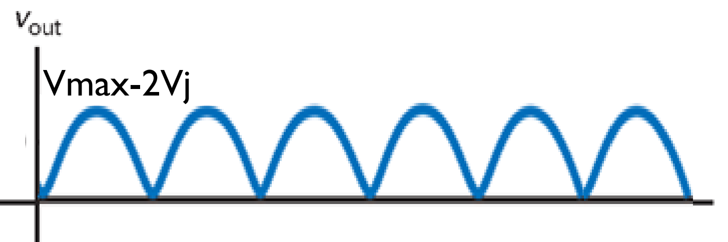


Em ponte



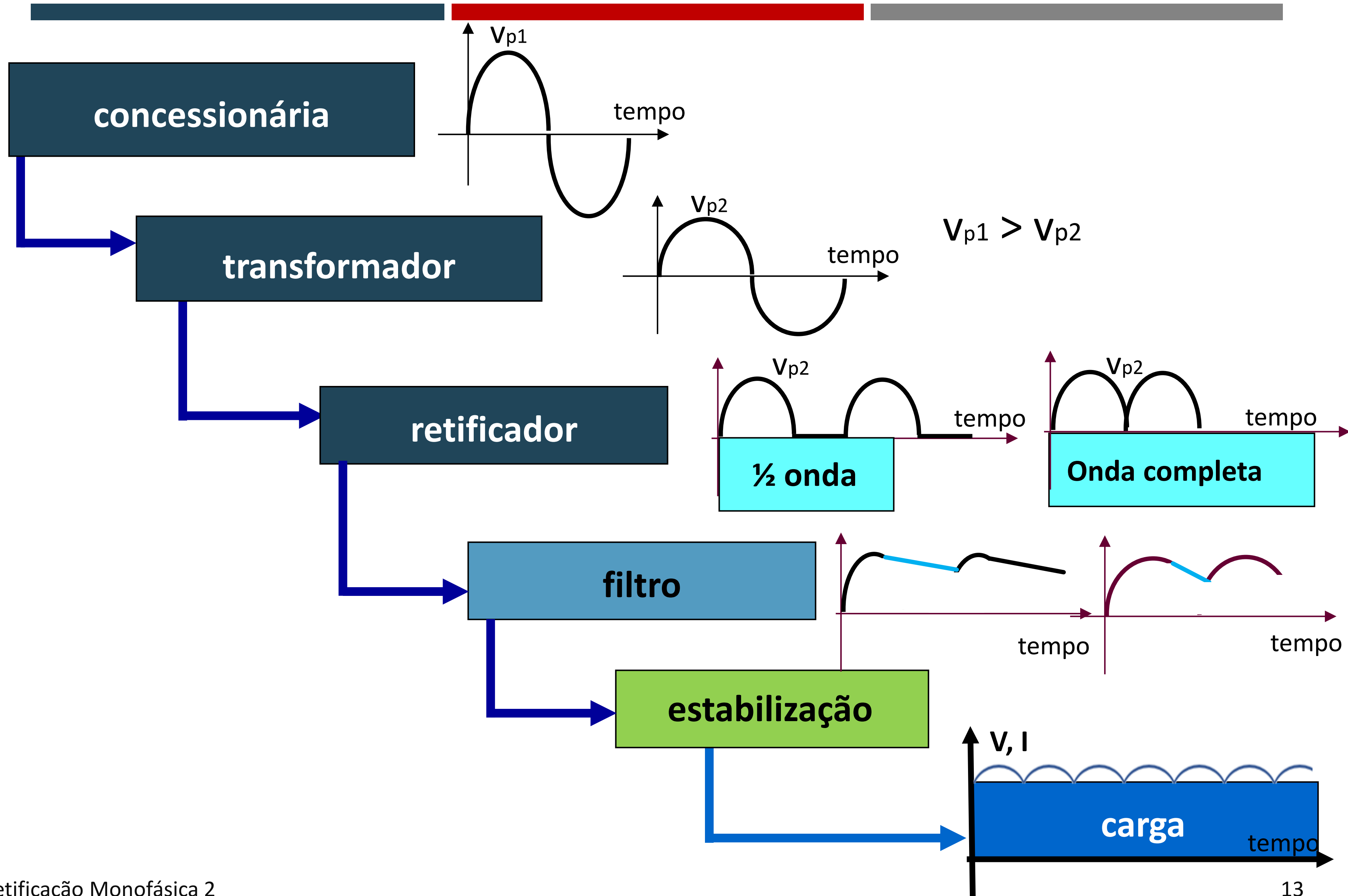
PONTE

$V_{RL} = V_{medio} = V_{DC}$=(Vmax-2VF).0,636



Malvino online cap 4: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555776/cfi/103!/6/4@0.00:0.00

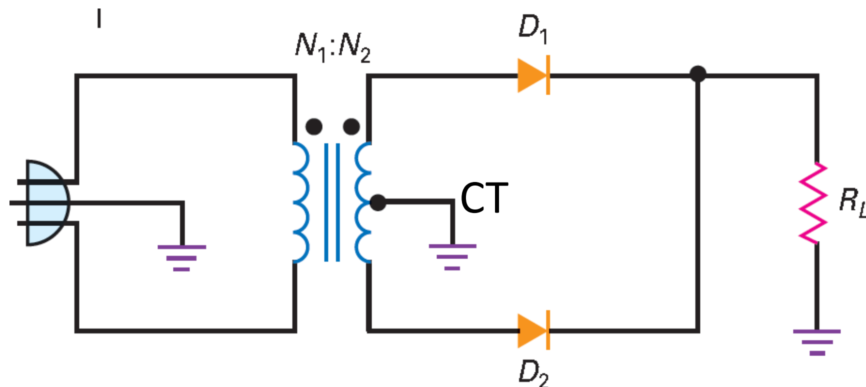
Revisão: estrutura básica de um retificador

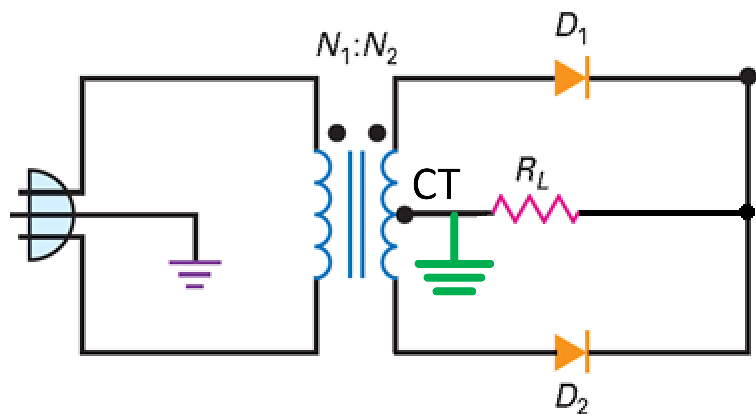


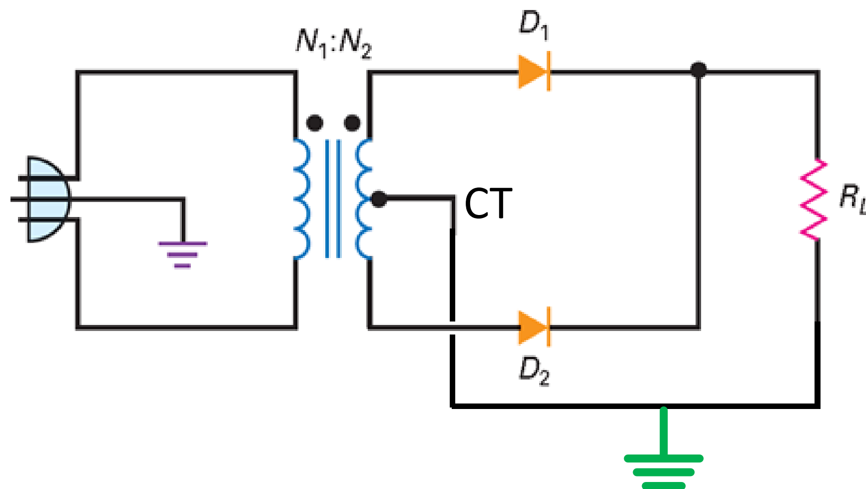
Configuração retificador 1ϕ onda completa **tape central**

Também denominado como center tape, duplo de meia onda.

Faz uso do transformador com um terceiro terminal no lado secundário denominado de tape central. Ex.: 127 V/15 V+15 V ou /2x15 V, 127-220 V/9 V+9 V ou /2x9 V



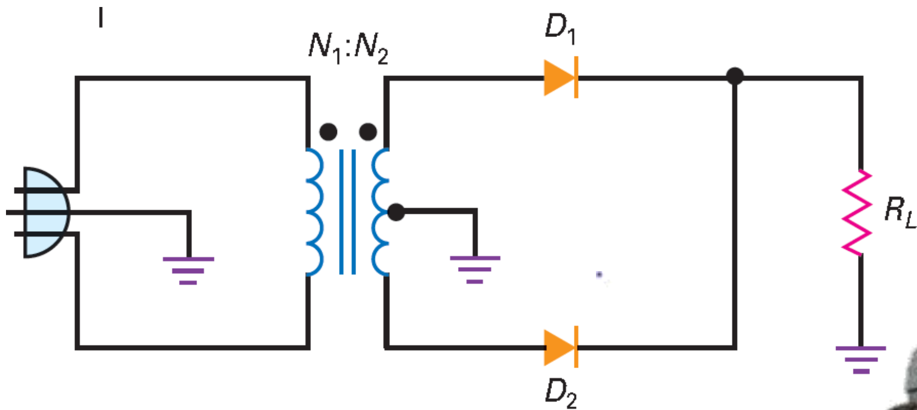


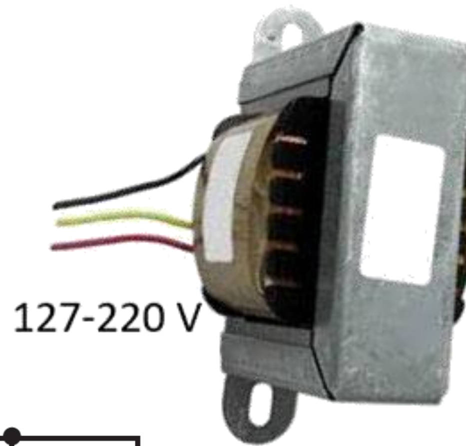


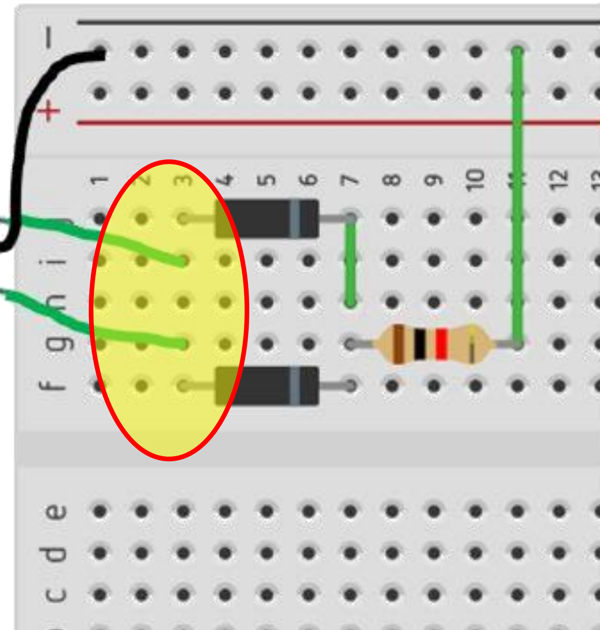
Bloco Repositório da Disciplina recurso livro sobre tape central

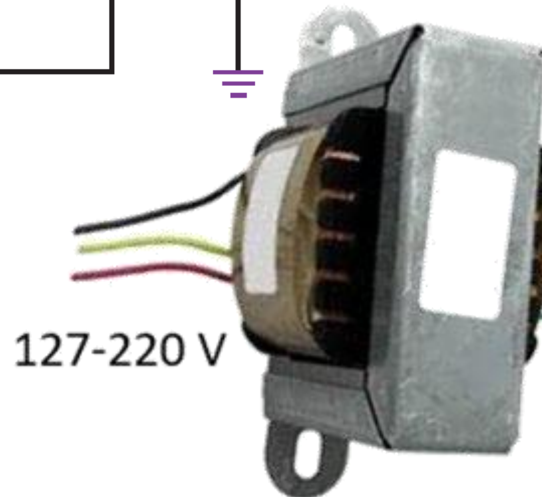
Conexão tape central no laboratório: evitar queima do transformador

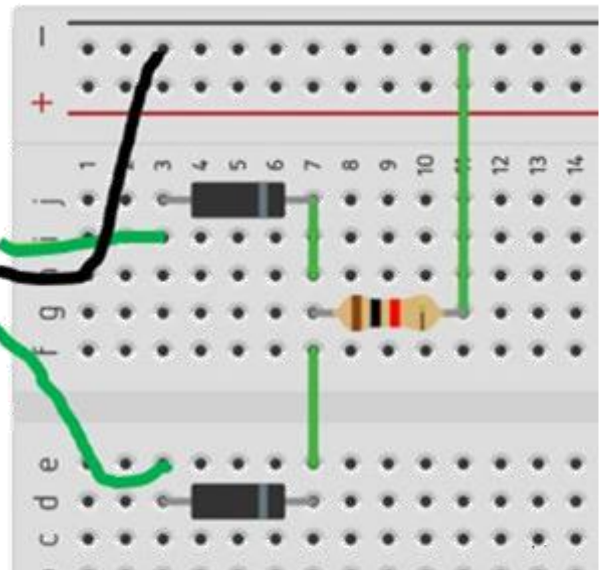








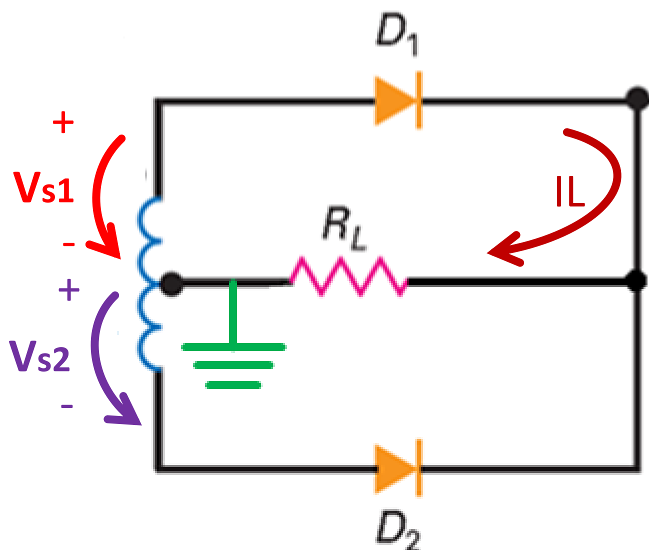




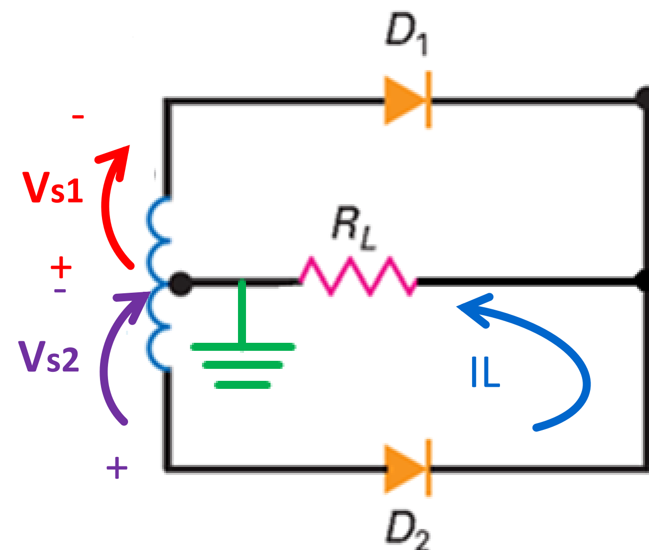
[Bloco Repositório da Disciplina recurso livro sobre tape central]

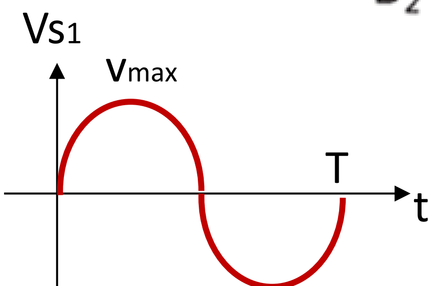
Retificador 1 ϕ onda completa: tape central

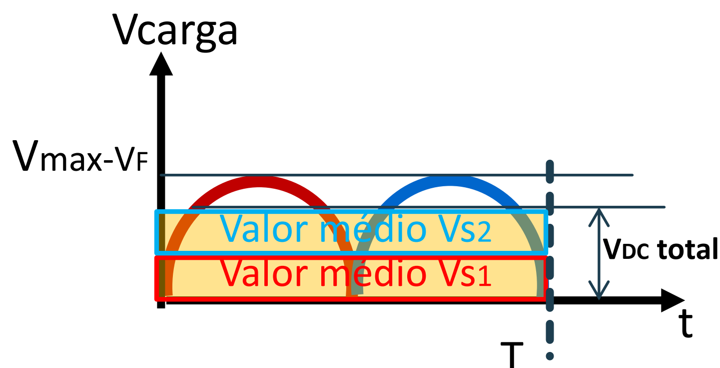
✓SEMICICLO POSITIVO DA SENOIDE

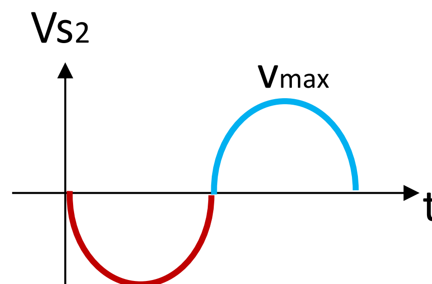


✓SEMICICLO NEGATIVO DA SENOIDE



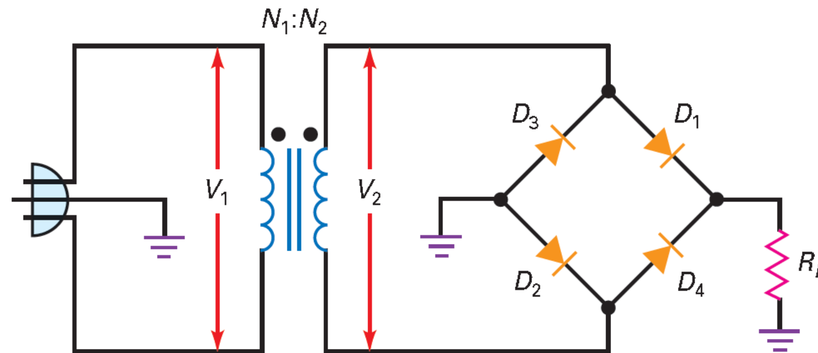




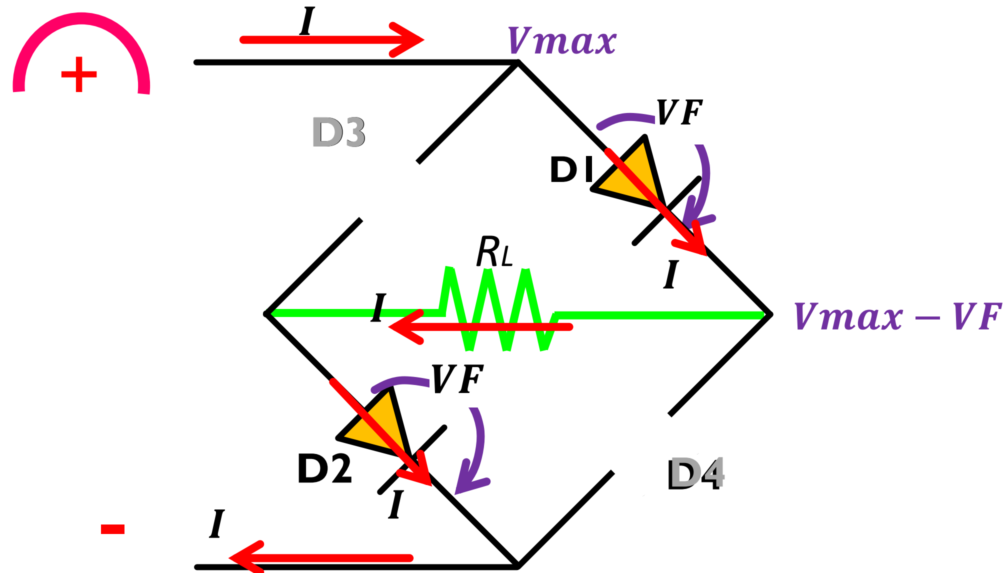


Corrente circula na carga R_L em apenas um único sentido

Retificador 1 ϕ onda completa: em ponte

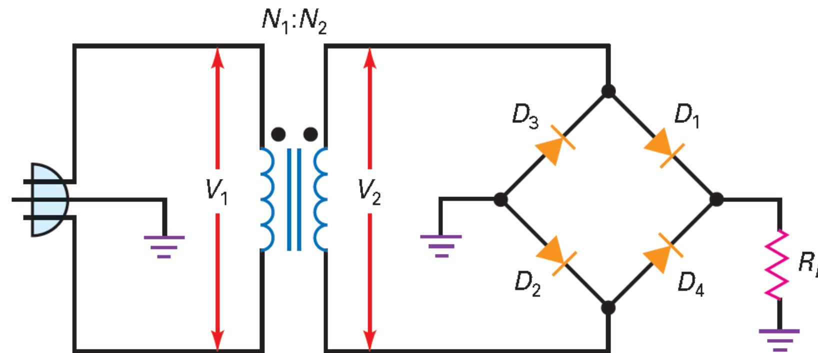


✓SEMICICLO POSITIVO DA SENOIDE

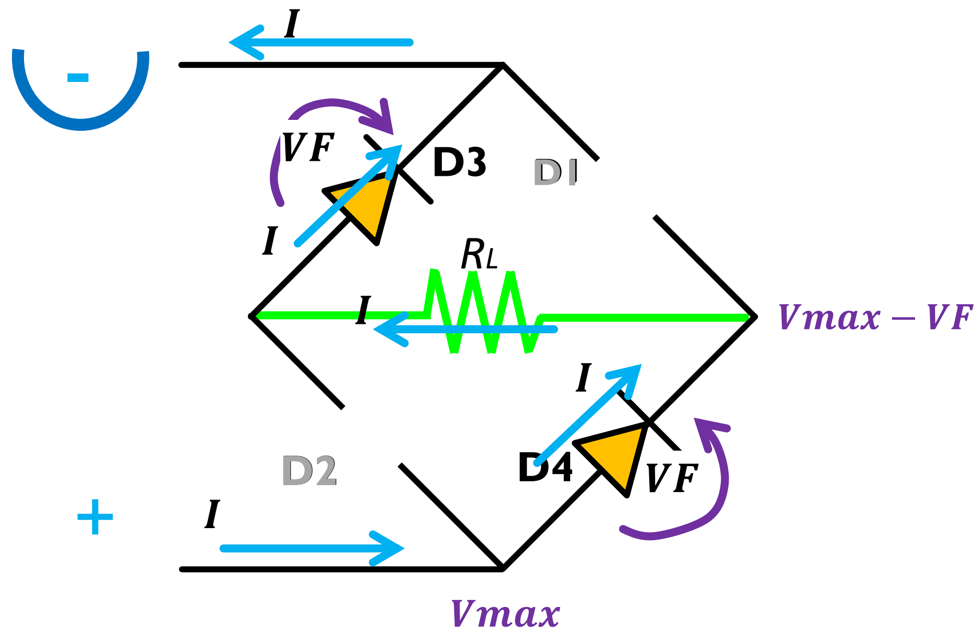


[Repositório da Disciplina recurso livro Retificador em Ponte]

Retificador 1 ϕ onda completa: em ponte

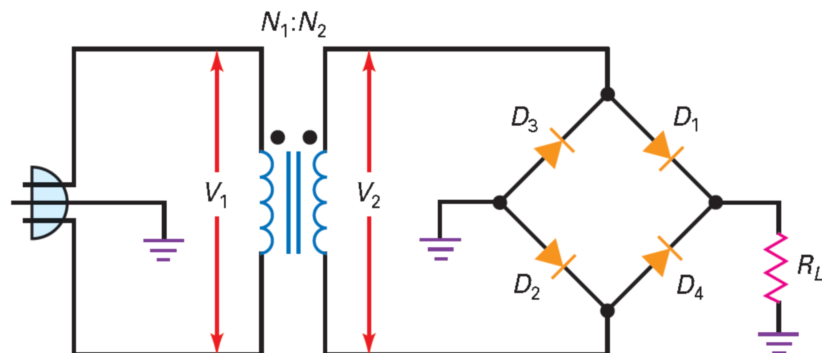


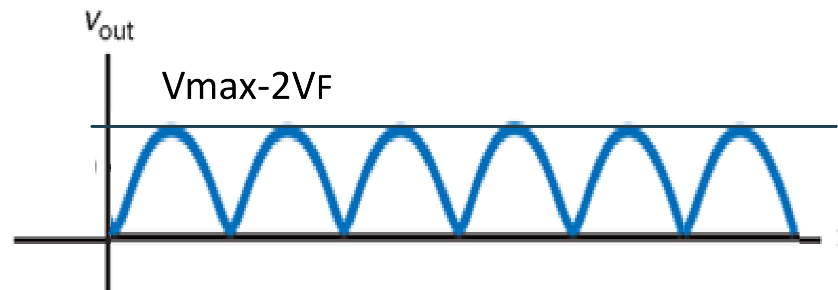
✓SEMICICLO NEGATIVO DA SENOIDE



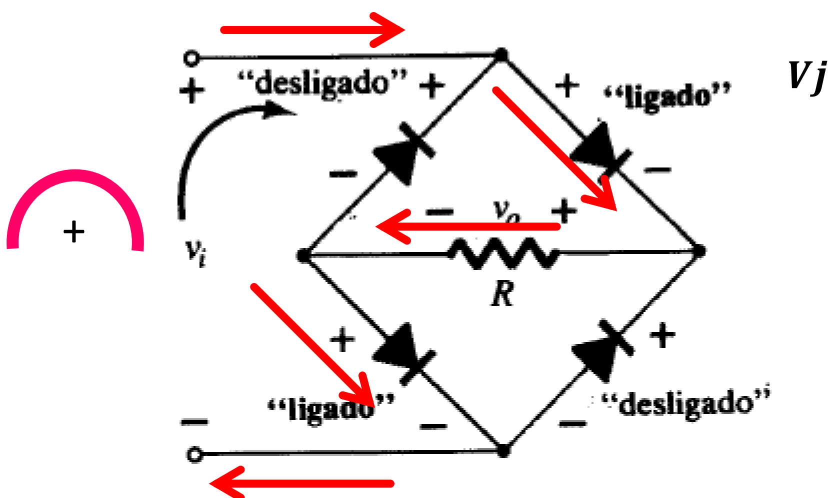
Corrente circula em apenas um único sentido

Resumo: sentido das correntes retificador em ponte

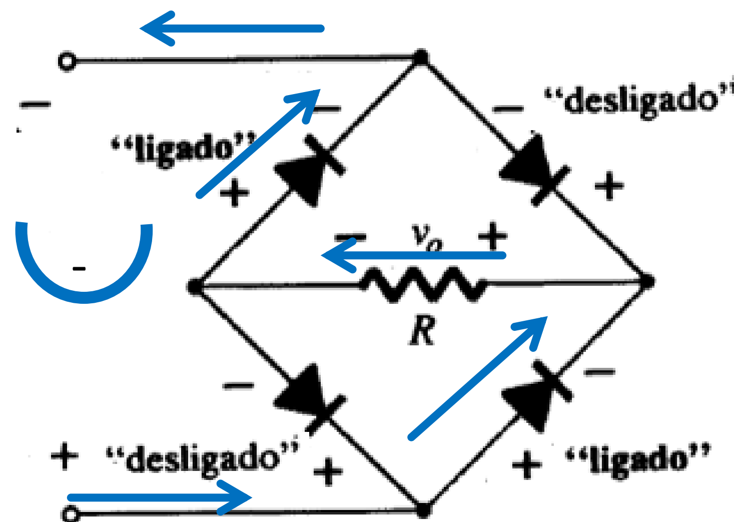




✓SEMICICLO POSITIVO DA SENOIDE



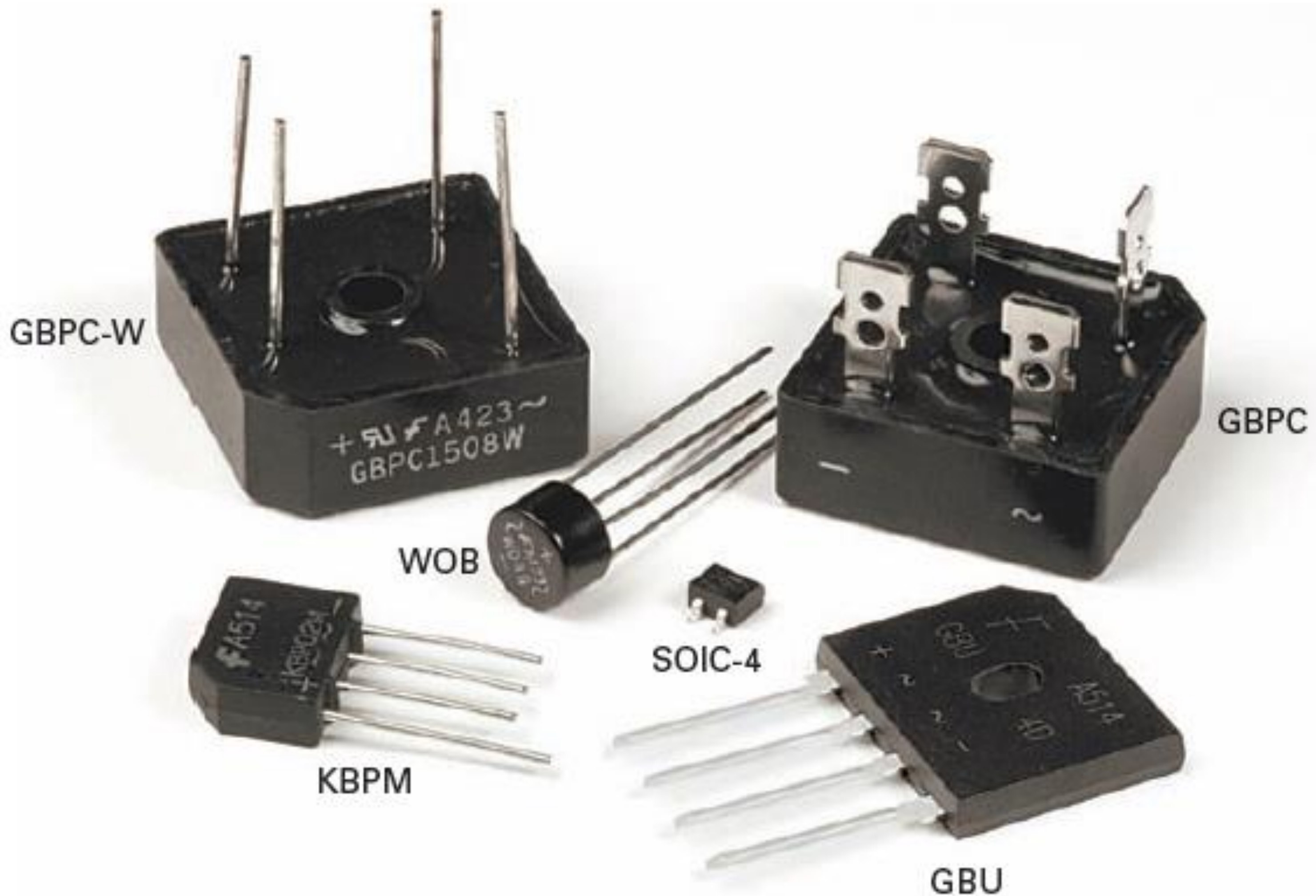
✓SEMICICLO NEGATIVO DA SENOIDE



Corrente circula em apenas um único sentido

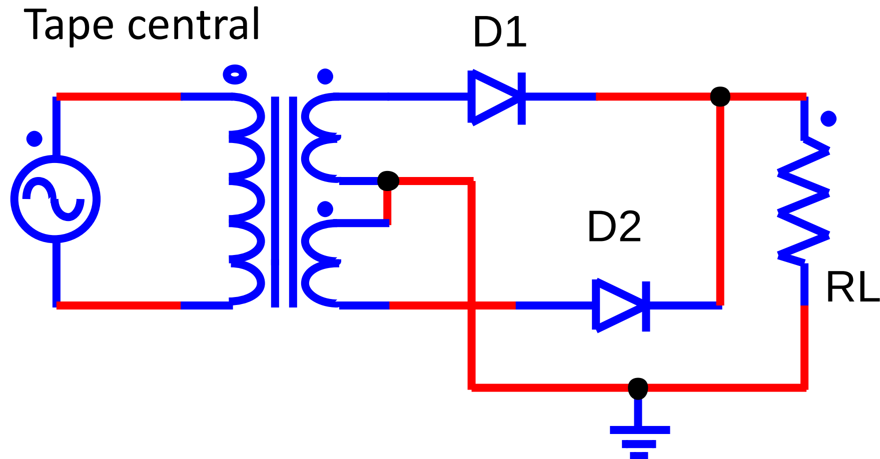
Créditos: Copyright 2016 by McGraw-Hill Education. Electronic principles/Albert Malvino, David J. Bates.-Eighth edition.

Retificador em ponte encapsulados



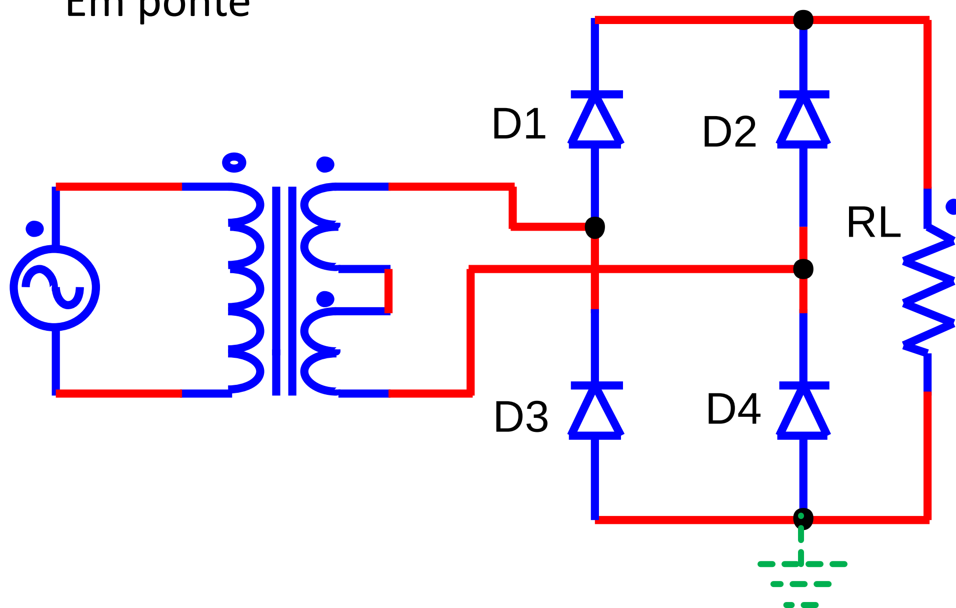
Referência=GND➔ tape central e ponte

Tape central



Esta topologia provê um terminal de referência físico-elétrico que para esse formato de conexão é o potencial de 0 V que equivale ao tape central do transformador.

Em ponte

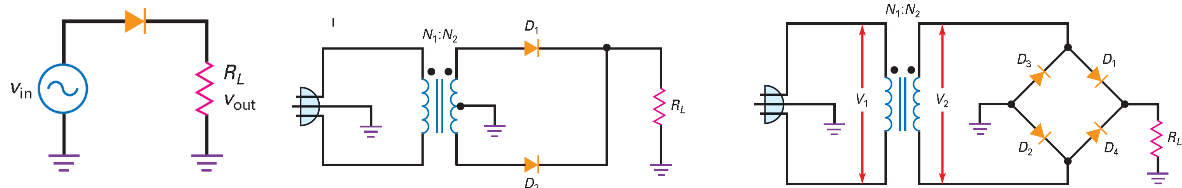


O terminal de referência físico do transformador, o tape central, não é eletricamente usado nesta topologia.
Neste retificador, admite-se que o GND coincide com os terminais do anodo de D3 e D4 e, que é diferente do tape central.



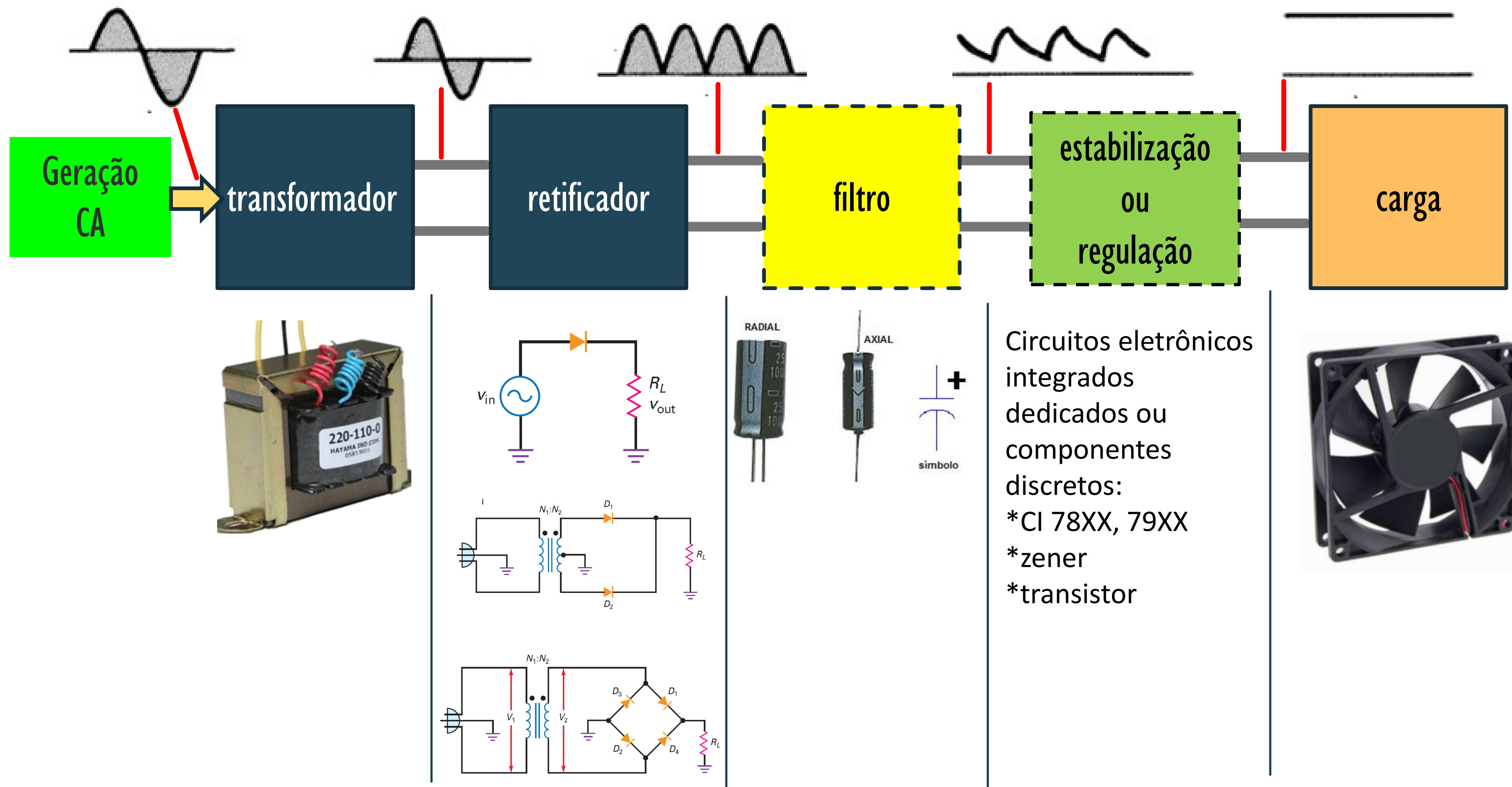
Nesta topologia o gnd é criado eletricamente.

TABELA RESUMO: retificadores (sem a etapa de filtro e regulação)



Parâmetro	Meia Onda	Onda Completa	
		Tape Central	Ponte
Número diodos	1	2	4
Frequência saída	$1.(Freq_{entrada})$	$2.(Freq_{entrada})$	$2.(Freq_{entrada})$
Tensão média na carga-V_{DC}=V_{CC} [V]	$\frac{(V_{max}-V_F)}{\pi}$	$\frac{2.(V_{max}-V_F)}{\pi}$	$\frac{2.(V_{max}-2V_F)}{\pi}$
Tensão eficaz na carga-V_{RMS}=V_{EF} [V]	$\frac{(V_{max}-V_F)}{2}$	$\frac{(V_{max}-V_F)}{\sqrt{2}}$	$\frac{(V_{max}-2V_F)}{\sqrt{2}}$
Máxima tensão reversa-TPR=TPI=PIV [V]	$> V_{max}$	$> 2.V_{max}$	$> V_{max}$
Ripple-fator de ondulação [%]	≈ 120	≈ 48	≈ 48
Capacidade de potência aparente do transformador em relação à potência contínua na carga [VA]	$3{,}49\ P_{DC}$ *primário e secundário*	$1{,}23\ P_{DC}$ *primário* $1{,}75\ P_{DC}$ *secundário*	$1{,}23\ P_{DC}$ *primário e secundário*
Eficiência [%]	40,5	80,9	80,9

Diagrama em blocos de uma fonte de alimentação linear



BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. Prentice-Hall do Brasil, 1998, 6ª edição, Capítulo 19.

Exercício 1- onda completa–tape central=duplo de ½ onda=*center tap*

1)Um circuito retificador monofásico duplo de meia onda emprega um transformador de 110 V/(9+9) V que alimenta uma carga de 1 kΩ. Admitir o diodo simplificado, V_F = 1 V. Pede-se:

a)Desenhar o circuito em questão

b)Desenhar a forma e valores no sec1 e sec2

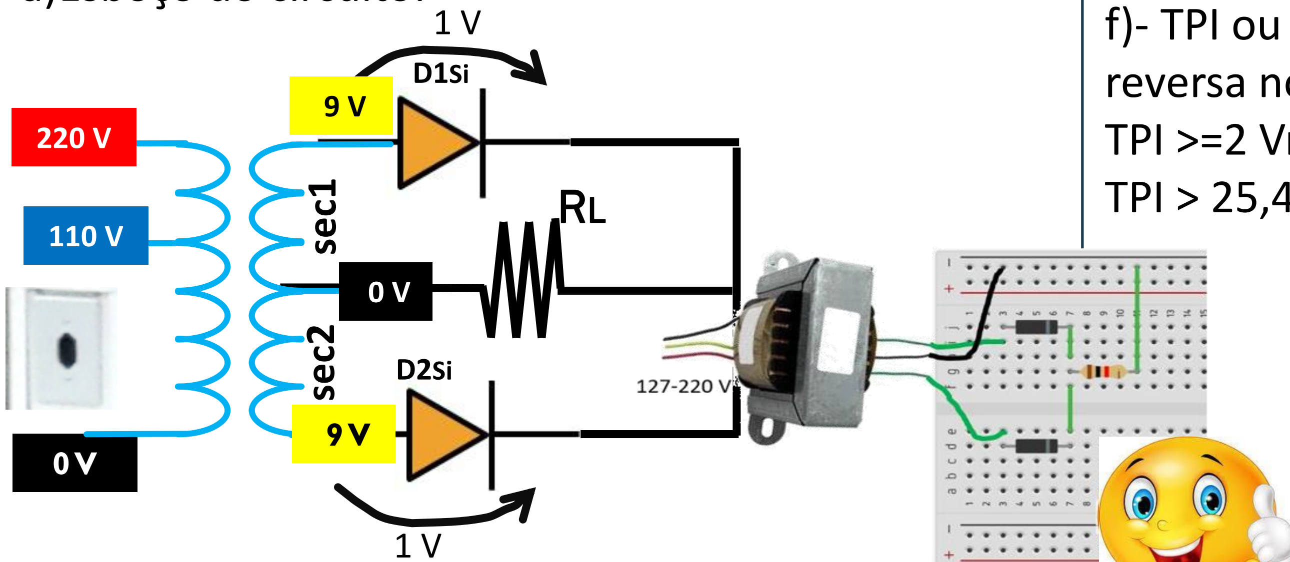
c)Desenhar a forma e valores na carga Vdc e Idc:

d) Desenhar a forma de onda e valores no(s) diodo(s):

e)Determinar a corrente média na carga

f)A especificação da TPI do(s) diodo(s)

a)Esboço do circuito:



e)Tensão e corrente média na carga:

$V_{RL} = V_{medio} = V_{DC} = (V_{max} - V_F).0,636$

Vmax = (9. √2) =12,73 V

Vdc = (12,73 -1) 0,636 = 7,46 Vdc

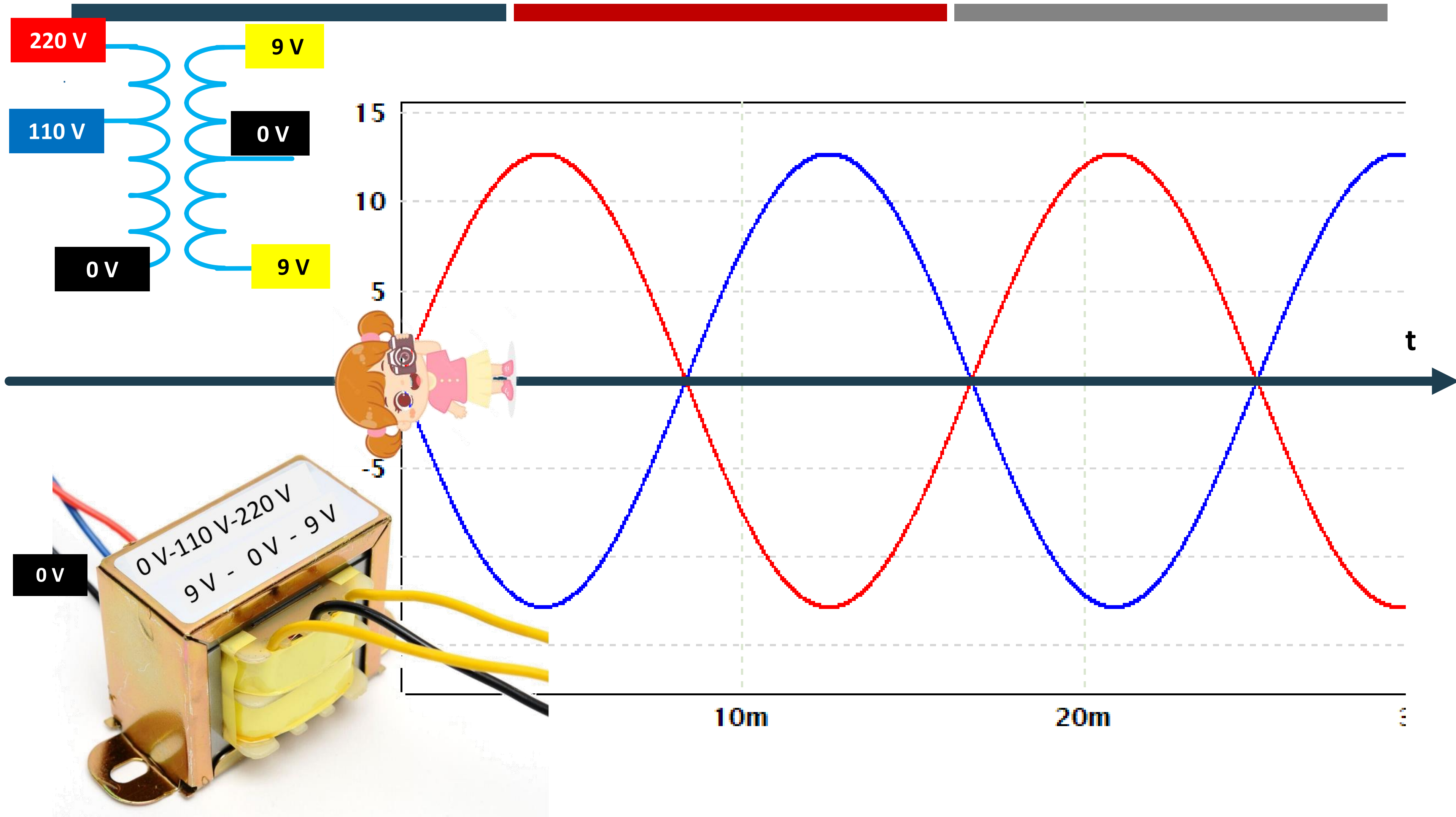
Idc = Vdc/RL= 7,46/1000 = 7,46 mA

f)- TPI ou PIV ou TPR: máxima tensão reversa no diodo:

TPI >=2 Vmax = 2(12,73)

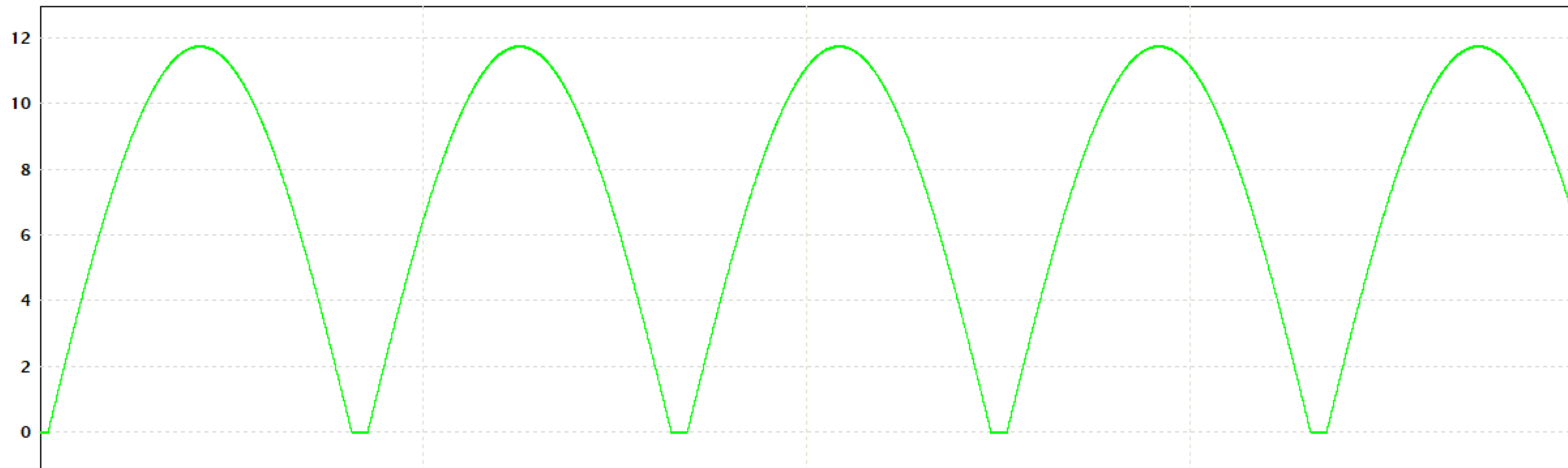
TPI > 25,46 V

Exercício : b)forma onda no Sec1 e Sec2



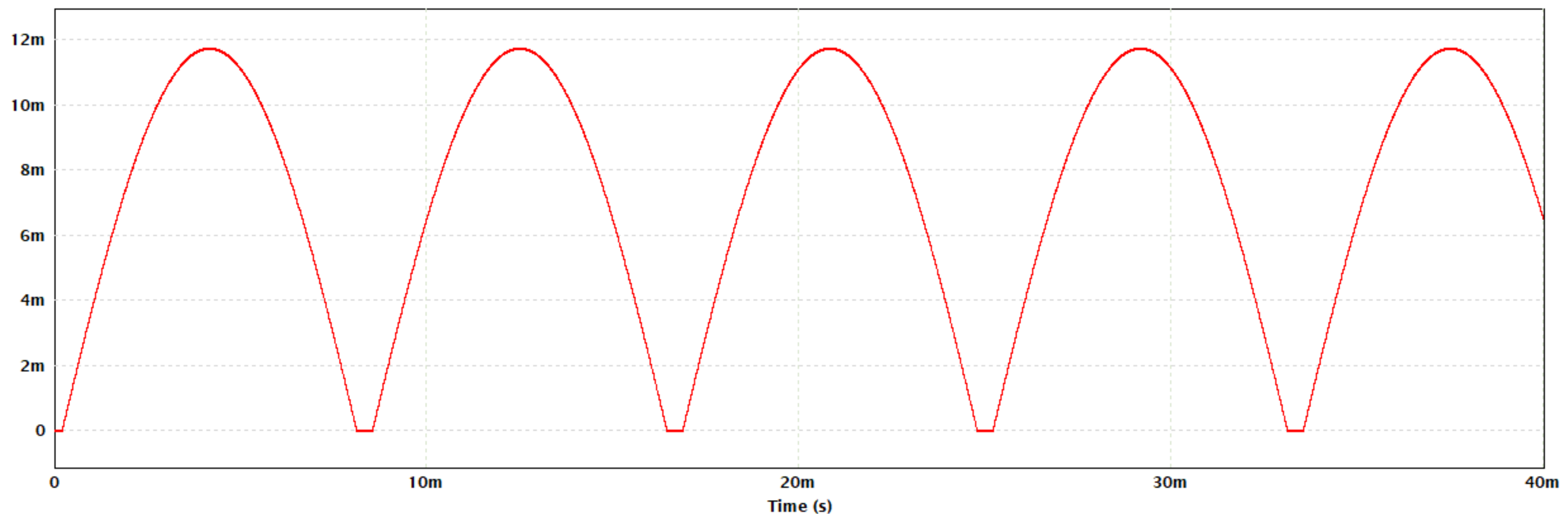
Exercício

c) Desenhar a forma e valores de onda na carga: Vdc e Idc



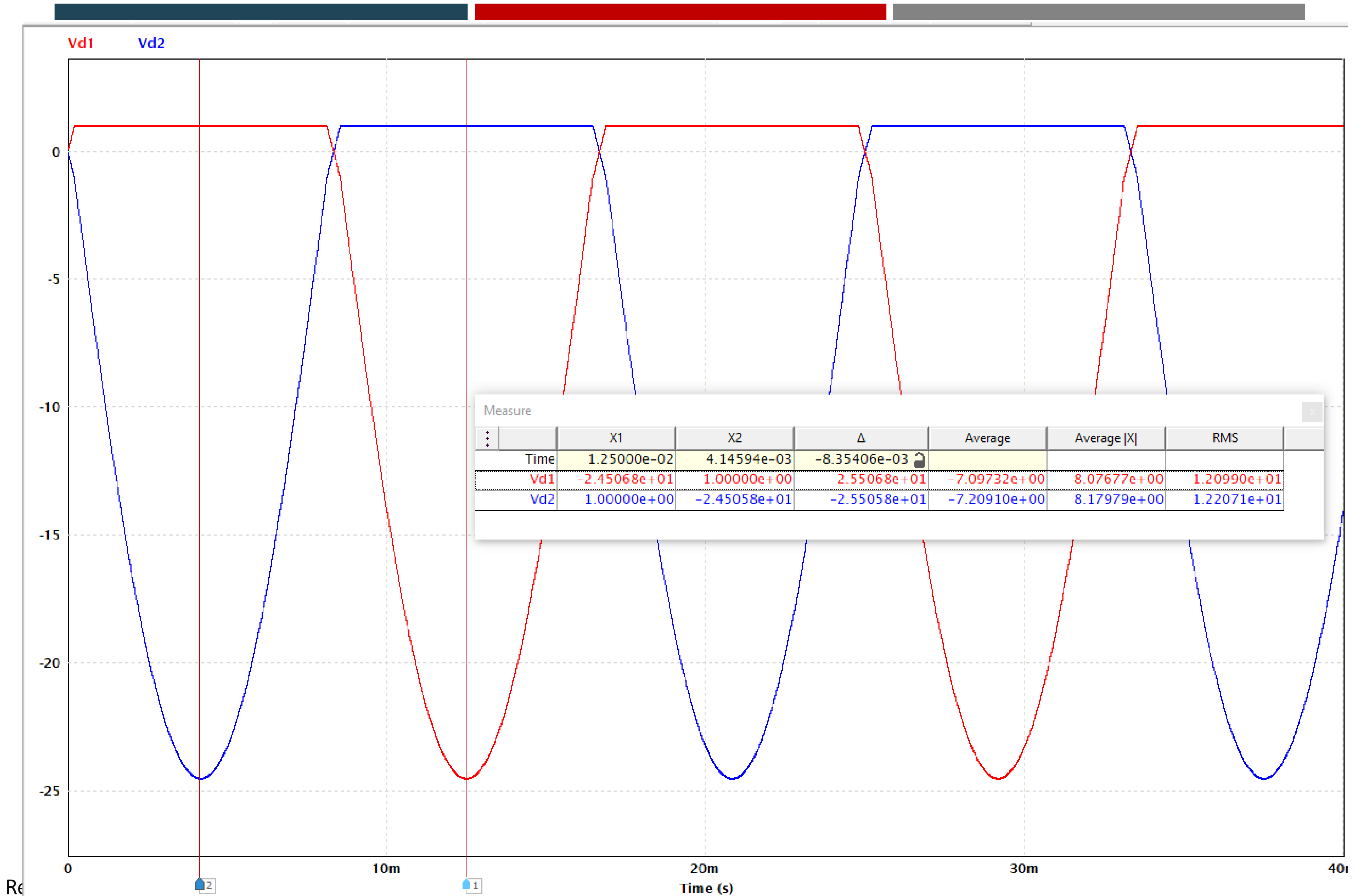
Measure

	X1	X2	Δ	Average	Average |X|	RMS
Time	8.00000e-03	3.20000e-02	2.40000e-02			
VRL	5.98289e-01	5.14399e+00	4.54570e+00	7.32013e+00	7.32013e+00	8.27017e+00
IRL	5.98289e-04	5.14399e-03	4.54570e-03	7.32013e-03	7.32013e-03	8.27017e-03



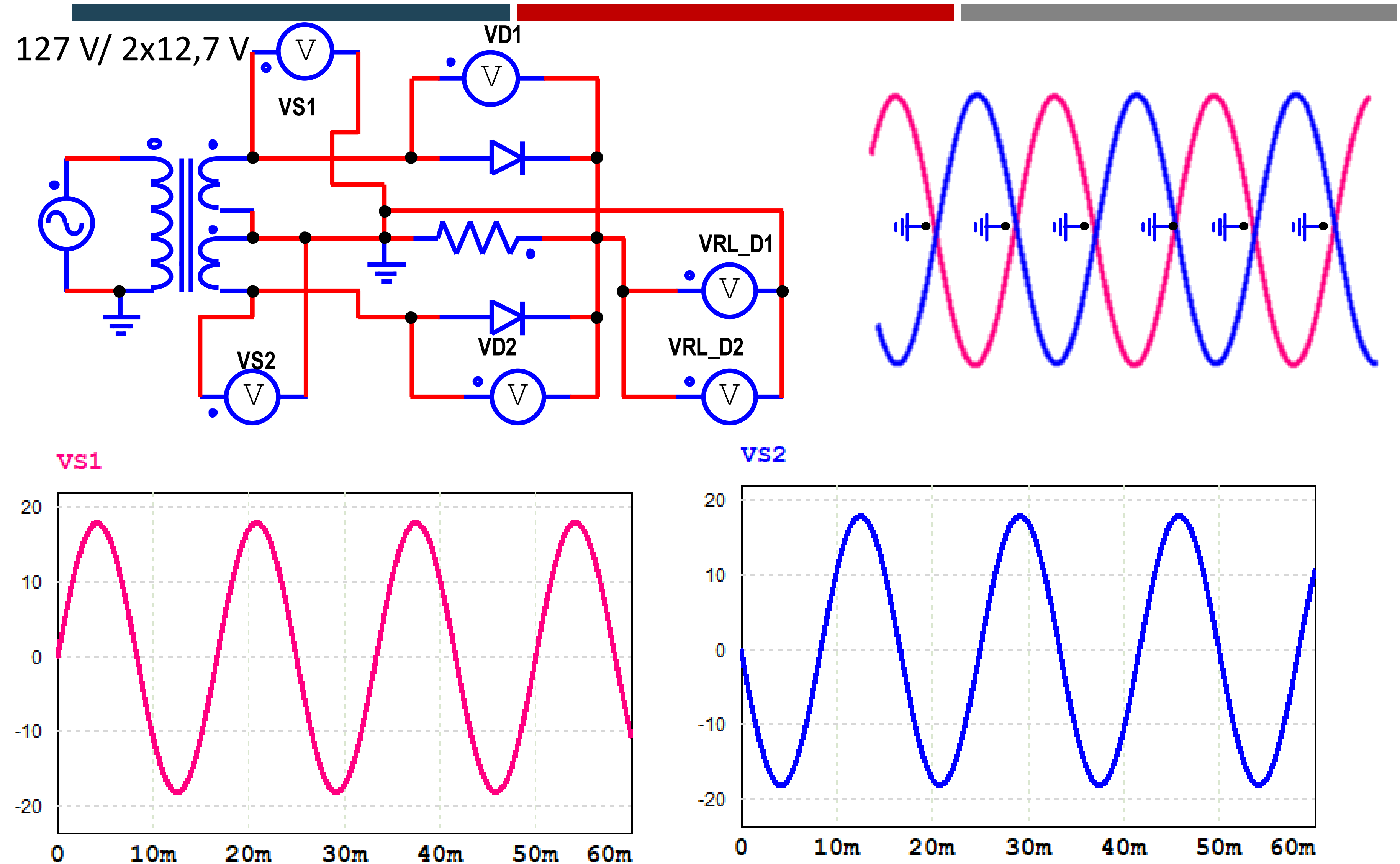
Exercício

d)Desenhar a forma de onda e valores no(s) diodo(s):



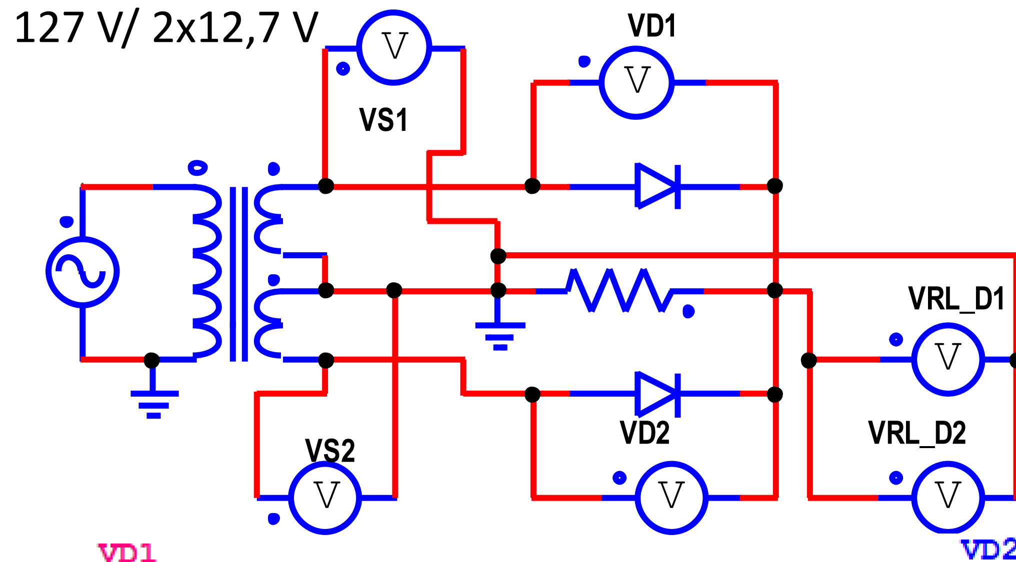
	X1	X2	Δ	Average	Average |X|	RMS
Time	1.25000e-02	4.14594e-03	-8.35406e-03			
Vd1	-2.45068e+01	1.00000e+00	2.55068e+01	-7.09732e+00	8.07677e+00	1.20990e+01
Vd2	1.00000e+00	-2.45058e+01	-2.55058e+01	-7.20910e+00	8.17979e+00	1.22071e+01

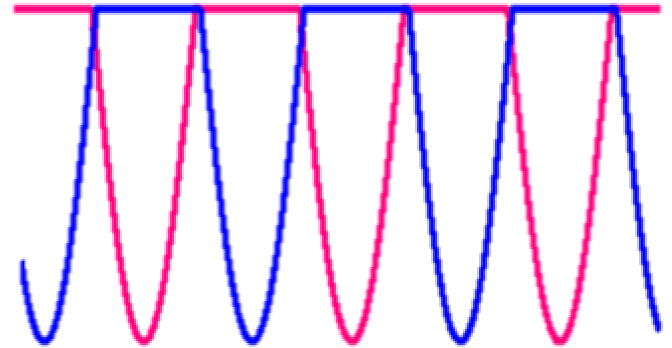
Exercício: esboce formas de onda

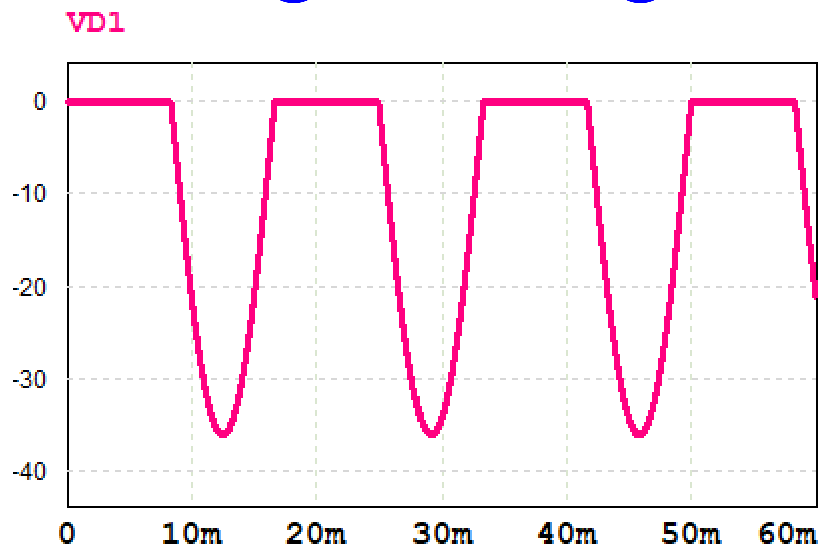


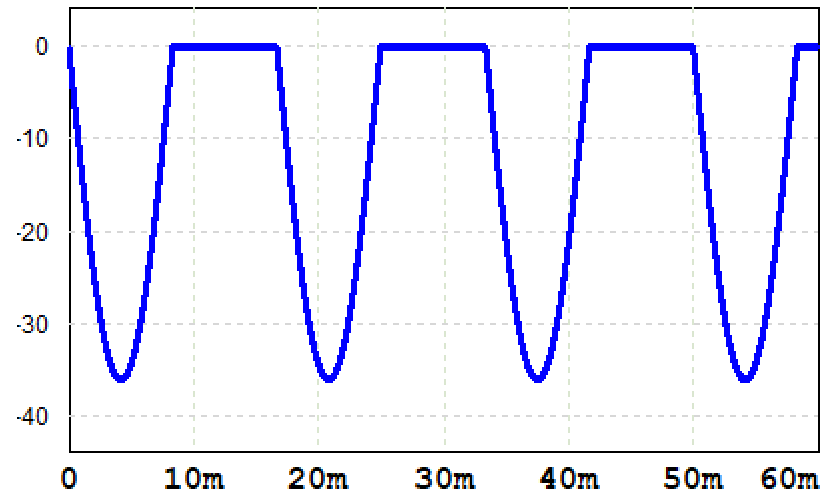
Exercício: esboce formas de onda

127 V/ 2x12,7 V



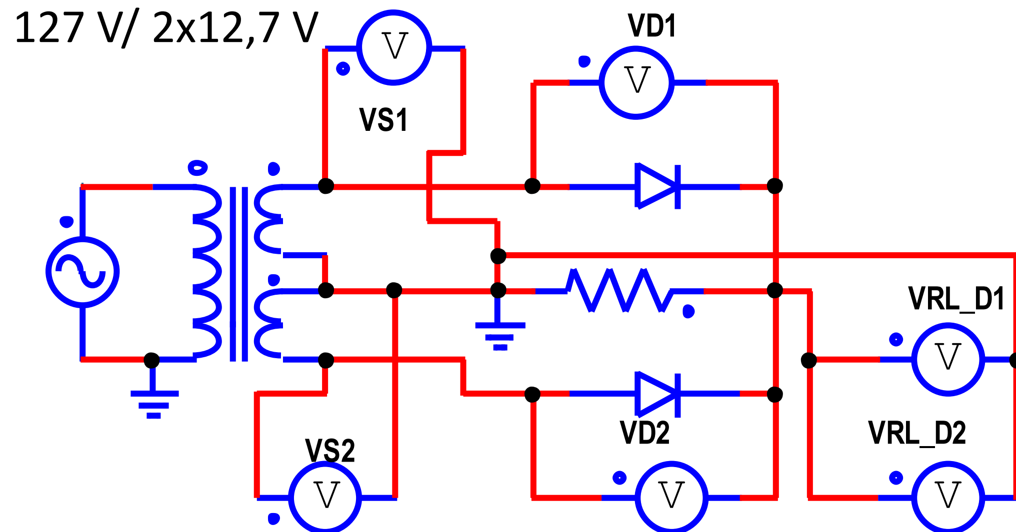


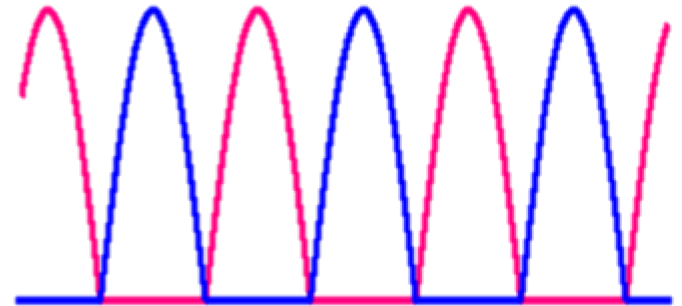


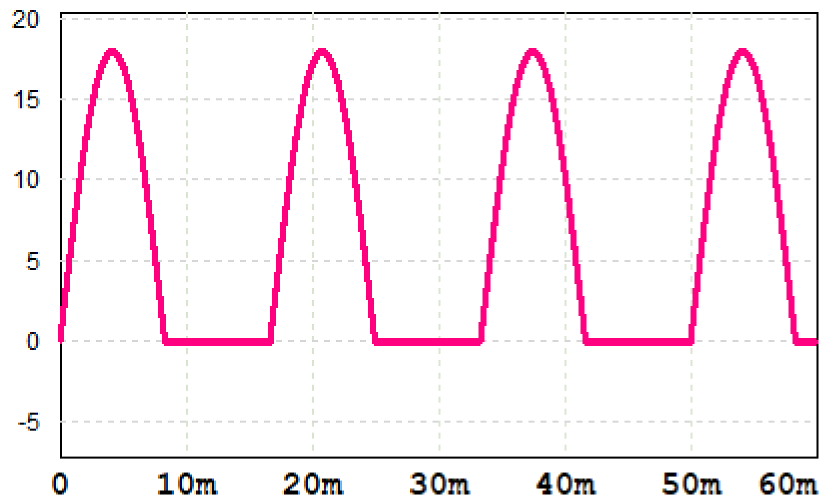


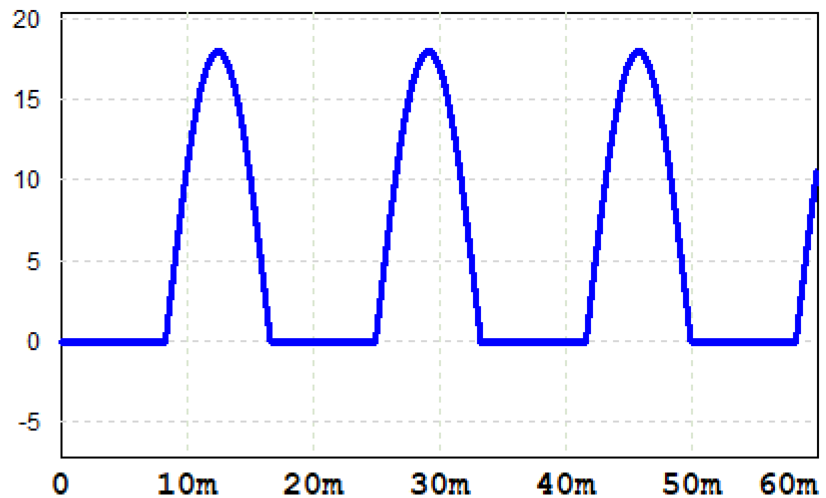
Exercício: esboce formas de onda

127 V/ 2x12,7 V









Exercício 2 onda completa – em ponte

2)Repita o exercício anterior porém admitindo retificador em ponte.
Transformador de 127 V/(15+15)V V_F= 1 V.

a)Desenhar o circuito em questão

b)Desenhar a forma e valores de onda na carga:

c) Desenhar a forma de onda e valores no(s) diodo(s):

d)Determinar a corrente média na carga (=26,1 mA)

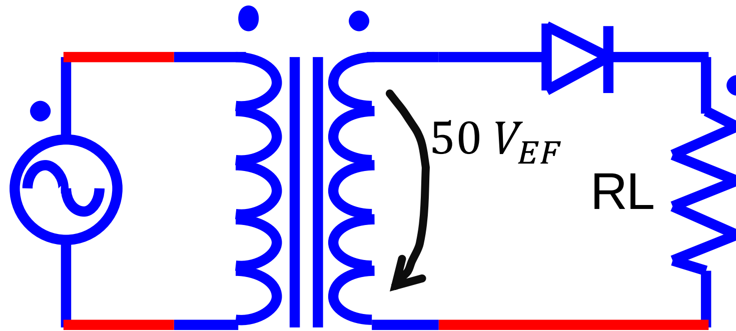
e)A especificação da TPI do(s) diodo(s) (> 42,42 V)

Para visualizar as formas de onda, vá até a página da disciplina, na aba Simulações PSIM & LTspice e use o exemplo que está lá para simular este exercício. Use o circuito superior e faça os ajustes necessários no transformador, diodos e carga.

Eficiência do retificador de meia onda (diodo ideal)

Eficiência (do retificador) ➔ $\eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}}$

Ex1. Calcule a eficiência de um retificador de meia onda puro conectado em 50 Vac e com carga igual a 100 Ω.



i) Cálculo da Potência média ➔ $P_{med} = P_{DC} = V_{DC} I_{DC}$

$$P_{med} = P_{DC} = (V_{rms}\sqrt{2}\,0{,}318)\,.\frac{(V_{rms}\sqrt{2}\,0{,}318)}{R_L} = \frac{2V_{rms}^2.(0{,}318^2)}{R_L} = \frac{0{,}202V_{rms}^2}{R_L} =$$

$$P_{med} = P_{DC} = \frac{0{,}202(50^2)}{100} = 5{,}05\ W$$

Eficiência do retificador de meia onda

ii)Cálculo da Potência AC ➔ $P_{AC} = V_{rms} I_{rms}$

Usando a tabela resumo retificadores

$$V_{rms\ meia\ onda} = \frac{V_{max}}{2}$$ ➔ ➔ ➔ ➔ ➔

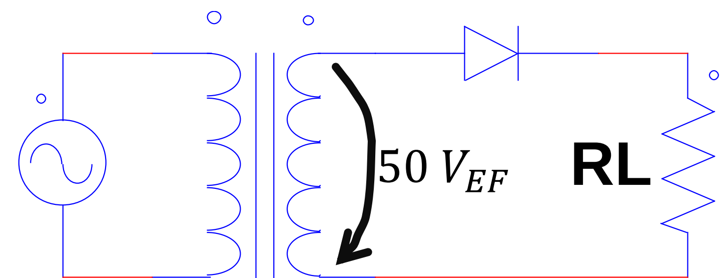
Parâmetro	Meia Onda
Número diodos	1
Frequência saída	$1.(Freq_{entrada})$
Tensão média na carga-V_{DC}=V_{CC} [V]	$\frac{(V_{max} - V_F)}{\pi}$
Tensão eficaz na carga-V_{RMS}=V_{EF} [V]	$\frac{(V_{max} - V_F)}{2}$

$$P_{AC} = \frac{(V_{rms}\sqrt{2}\ )}{2} . \frac{(V_{rms}\sqrt{2}\ )}{2\ R_L} =$$

$$\frac{V_{rms}^2 .}{2R_L} = \frac{50^2}{2.(100)} = 12{,}5\ W$$

iii) Eficiência do retificador ➔

$$P_{med} = P_{DC} = 5{,}05\ W \qquad P_{AC} = 12{,}5\ W$$

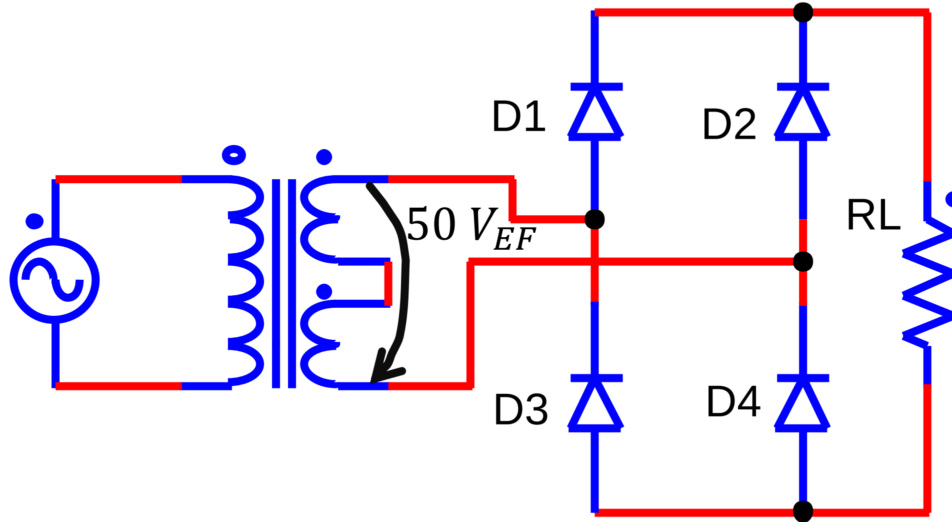


$$\eta = \frac{Pmed}{P_{AC}} = \frac{5{,}05}{12{,}5} = 0{,}405 = 40{,}5\ \%$$

Eficiência do retificador de onda completa (diodo ideal)

Eficiência (do retificador) ➔ $\eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}}$

Ex2. Calcule a eficiência de um retificador em ponte conectado em 50 Vac e com carga igual a 100 Ω.



i) Cálculo da Potência média ➔ $P_{med} = P_{DC} = V_{DC} I_{DC}$

$$P_{med} = P_{DC} = (V_{rms}\sqrt{2}\ 0{,}636)\ .\frac{(V_{rms}\sqrt{2}\ 0{,}636)}{R_L} = \frac{2V_{rms}^2.(0{,}636)^2}{R_L} = \frac{0{,}809V_{rms}^2}{R_L} =$$

$$P_{med} = P_{DC} = \frac{0{,}809(50^2)}{100} = 20{,}22\ W$$

Eficiência do retificador de onda completa

ii)Cálculo da Potência AC ➔ $P_{AC} = V_{rms} I_{rms}$

Usando a tabela resumo retificadores

$$V_{rms\,ponte} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

➔ ➔ ➔ ➔ ➔

Parâmetro	Meia Onda
Número diodos	1
Frequência saída	$1.(Freq_{entrada})$
Tensão média na carga-V_{DC}=V_{CC} [V]	$\frac{(V_{max} - V_F)}{\pi}$
Tensão eficaz na carga-V_{RMS}=V_{EF} [V]	$\frac{(V_{max} - V_F)}{2}$

$$P_{AC} = \frac{(V_{rms}\sqrt{2}\,)}{\sqrt{2}} \cdot \frac{(V_{rms}\sqrt{2}\,)}{\sqrt{2}R_L} =$$

$$\frac{V_{rms}^2 \cdot}{R_L} = \frac{50^2}{(100)} = 25\ W$$

iii) Eficiência do retificador ➔

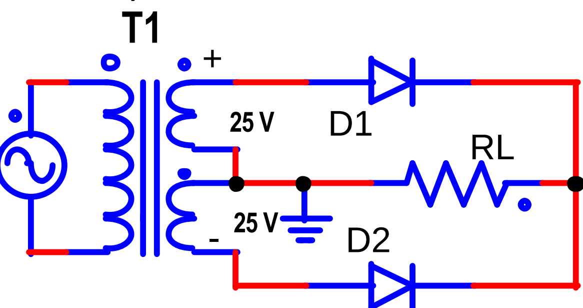
$P_{med} = P_{DC} = 20{,}22\ W$ $\quad P_{AC} = 25\ W$

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} = \frac{20{,}22}{25} = 0{,}809 = 80{,}9\ \%$$

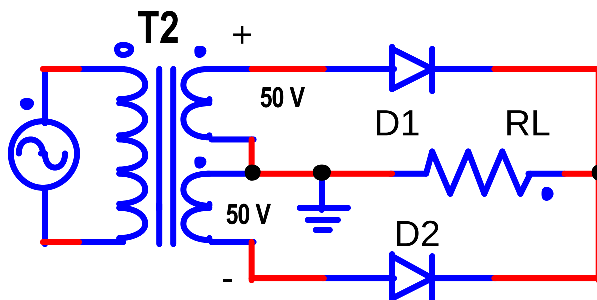
Comparativo eficiência onda completa: tape central x ponte

Exercício: Obter a eficiência para circuitos retificadores puros de tape central e carga igual a 100 Ω para as seguintes topologias. Compare os resultados das eficiências e tensão média entre o meia onda, tape central e ponte.

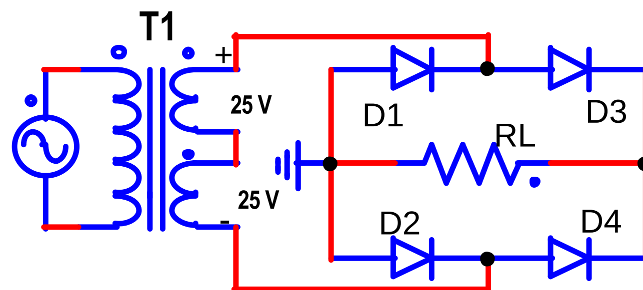
a.1) **Utiliza Transformador1**



a.2) Utiliza Transformador2



b) **Utiliza Transformador1**

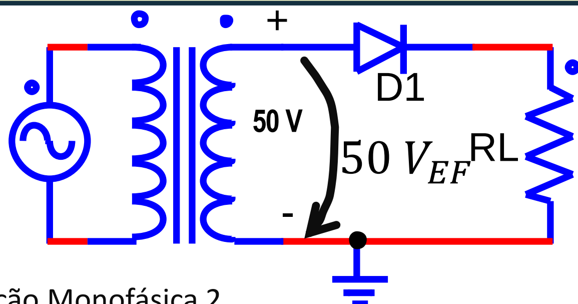


Vdc duplo ½ ➔ 22,4 V | Vdc duplo ½ ➔ 44,9 V | Vdc ponte ➔ 44,9 V

Duplo ½ onda➔**η= 80,9 %**

Ponte ➔ **η= 80,9 %**

Nos retificadores puros de onda completa a eficiência é a mesma, porém a diferença está no nível da tensão DC fornecida para a carga com o uso dos mesmos terminais do transformador.

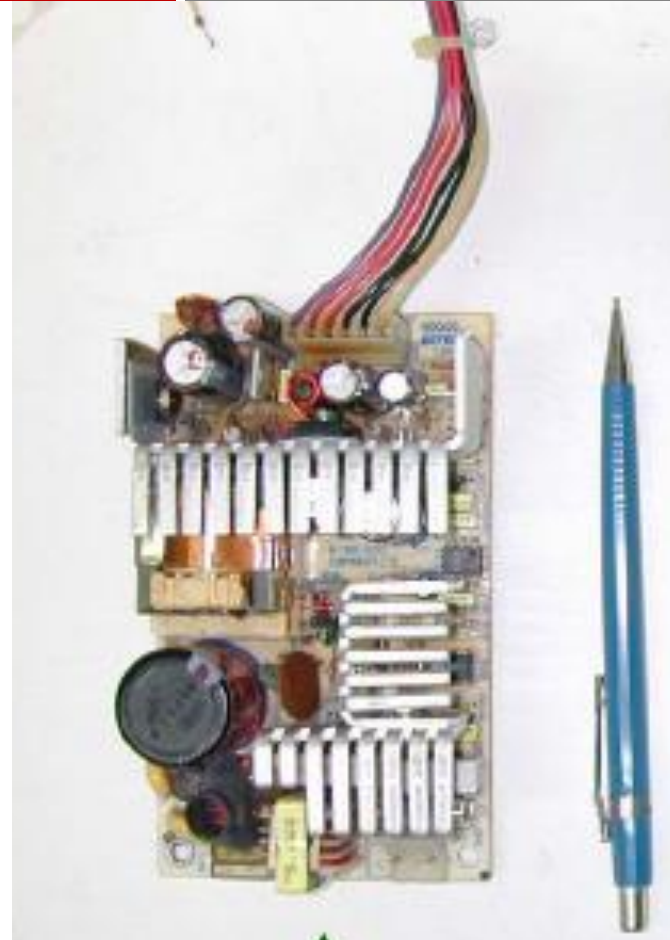


½ onda➔**η= 40,5 %**

Fonte (alimentação) Linear x Fonte (alimentação) Chaveada



FONTE LINEAR (FAL) – 29 W



FONTE CHAVEADA – 65 W

Créditos:
http://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_CEFET/Eletronica_Basica/2007_1/Aula_18.pdf

Exercícios: créditos Boylestad, cap 2, 6ª ed.

22. Considerando o diodo ideal, esboce v_i, v_d e i_d para o retificador de meia-onda da Fig. 2.148. A entrada é uma forma de onda senoidal com uma freqüência de 60 Hz.

***23.** Repita o Problema 22 com um diodo de silício ($V_T = 0{,}7$ V).

***24.** Repita o Problema 22 com uma carga de 6,8 kΩ aplicada como mostra a Fig. 2.149. Esboce v_L e i_L.

25. Para o circuito da Fig. 2.150, esboce v_o e determine V_{dc}.

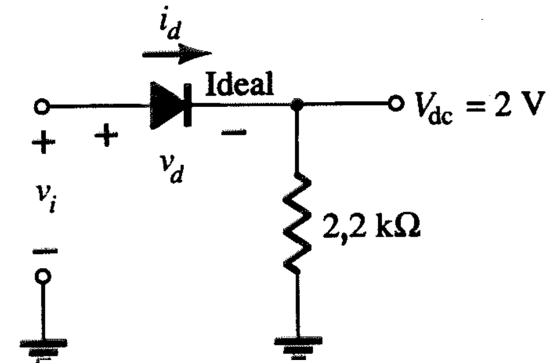
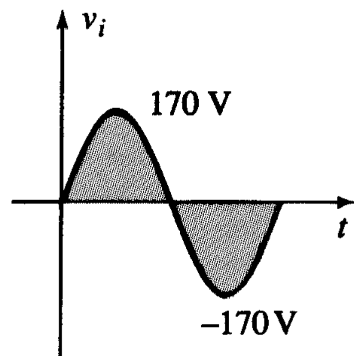


Fig. 2.148 Problemas 22, 23.

***31.** Esboce v_o para o circuito da Fig. 2.155 e determine a tensão dc disponível.



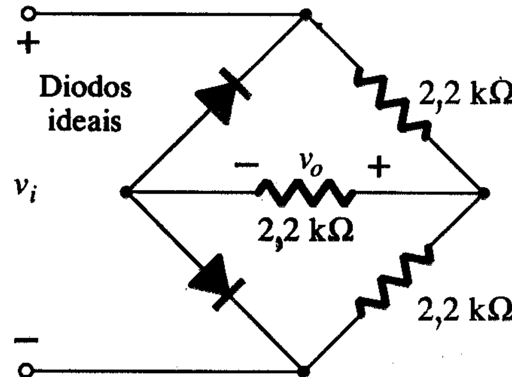


Fig. 2.155 Problema 31.

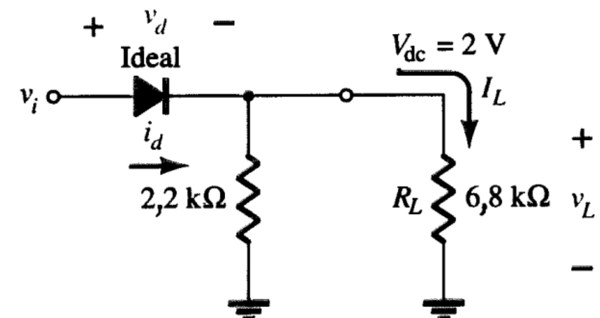


Fig. 2.149 Problema 24.

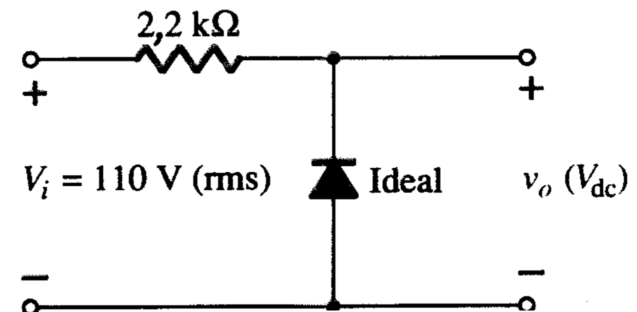


Fig. 2.150 Problema 25.

23) 6,98 V, id=2,85 mA   25) Vp=155,56 V, VDC=49,47 V

31) Vp=56,67 V, VDC=36,04 V